

Proxectos INOU 2024

Investigación aplicada na provincia de Ourense

Coordinación:

Vicerreitoría do
Campus de Ourense-Campus Auga

Proxectos INOU 2024.

Investigación aplicada na provincia de Ourense

Coordinación:

Vicerreitoría do
Campus de Ourense-Campus Auga

Ourense, 2025

Universidade de Vigo • Campus de Ourense

Proxectos INOU 2024. Investigación aplicada na provincia de Ourense

Autores/as Investigadores/as principais:

García Luis, Uxía
García Rivera, Matías
Guada Prada, Guillermo
Veiga López, Fernando
Martínez Román, Rosana
Otero Cerdeira, Lorena
Otero Fuertes, María Paz
Pérez Pérez, Martín
Souto Castro, Iria
Míguez Álvarez, Carla María

Coordinación:

Vicerreitoría do Campus de Ourense-Campus Auga

Comisión de Avaliación:

Astray Dopazo, Gonzalo
Cerdeira Lois, José Juan
Fernández López, Roberto Ignacio
González Jorge, Higinio
Pérez Álvarez, María José
Rodríguez Teijeiro, Domingo
Rodríguez Rajo, Francisco Javier
Sánchez Ramos, María Belén

Nº de páxinas: 184

ISBN: 978-84-1188-080-0

Edición

Vicerreitoría do Campus de Ourense - Campus Auga

www.uvigo.gal/campus/ourense-campus-auga

© Universidade de Vigo

Maquetación

Rodi Artes Gráficas, S. L.

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluíndo fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo e por escrito das persoas titulares do copyright.

Índice

Prólogo	7
Implementación dunha estación terrea para o seguimento de satélites no campus de Ourense	9
Integración de IMU e GNSS. Estimación do estado do firme	27
VIGOUR: vixilancia de plantas invasoras na Galicia ourensá	41
Do <i>sexting</i> ao acoso e abuso sexual baseado nas imaxes: novos perigos subxacentes de violencia sexual en liña entre adolescentes ourensáns	63
DIFRA: detección de infraccións en franxas de protección con drons	91
Obtención de compostos fenólicos de follas de vide (<i>Vitis vinifera</i> L.) da provincia de Ourense coa extracción líquida presurizada (ELP)	111
Sistema de detección mediante intelixencia artificial para o conto e a análise de mostras biolóxicas en imaxes xeradas por microscopio	135
As culturas antigas e a educación actual: unha experiencia de intervención educativa en Ourense	157

PRÓLOGO

Francisco Javier Rodríguez Rajo

Vicerreitor do Campus de Ourense-Campus Auga

A investigación no eido universitario constitúe un dos piares fundamentais sobre os que se sustenta o progreso científico, tecnolóxico e social. No marco do convenio entre a Deputación de Ourense e o Campus Auga da Universidade de Vigo que se vén asinando anualmente dende o ano 2003 e que, entre outras cousas, contribúen ao financiamento desta nova convocatoria de proxectos de INOU de investigación, este compromiso coa xeración e transferencia de coñecemento concrétase nun conxunto de proxectos que reflicten a diversidade, a calidade e a proxección da actividade investigadora desenvolvida ao longo do ano 2024 no noso campus.

O presente libro reúne os resultados acadados por oito proxectos de investigación que, dende distintos ámbitos de coñecemento, comparten un obxectivo común: contribuír ao avance científico e á mellora da sociedade ou da economía na provincia de Ourense a través da innovación, o rigor metodolóxico e o traballo colaborativo.

A aposta pola tecnoloxía e a vangarda científica maniféstase claramente en iniciativas como a «Implementación dunha estación terrea para o seguimento de satélites no campus de Ourense», que sitúa a nosa institución nunha posición estratéxica no eido aeroespacial, ou na «Integración de sistemas IMU e GNSS para a estimación do estado do firme», orientada á mellora das infraestruturas e da seguridade viaria. Tamén no eido ambiental, proxectos como «VIGOUR», centrado na vixilancia e no control de especies invasoras na Galicia ourensá, e «DIFRA», dedicado á detección de infraccións en franxas de protección mediante o uso de drones, exemplifican o uso das novas tecnoloxías ao servizo da sustentabilidade e da protección do medio natural. Nesta mesma liña, a investigación sobre a «Obtención de compostos fenólicos de follas de vide (*Vitis vinifera* L.) mediante extracción líquida presurizada» promove a valorización dos recursos naturais locais e impulsa unha economía máis sostible e circular. Outros proxectos incorporan unha dimensión social e educativa de gran relevancia. A «Análise do *sexting* e do acoso e abuso sexual baseado nas imaxes entre adolescentes ourensáns» ofrece unha aproximación

científica a un problema emerxente vinculado ás dinámicas dixitais e á violencia de xénero, mentres que o proxecto «As culturas antigas e a educación actual» propón unha reflexión enriquecedora sobre o papel das humanidades clásicas na formación contemporánea. Finalmente, a «Aplicación da intelixencia artificial á detección e análise de mostras biolóxicas en imaxes microscópicas» evidencia o potencial das tecnoloxías de aprendizaxe automática en todos os ámbitos, reforzando o carácter interdisciplinar e innovador da investigación universitaria ourensá.

Estes oito proxectos amosan, en conxunto, a vitalidade e a excelencia da investigación desenvolvida no campus de Ourense, así como a súa contribución decisiva ao desenvolvemento científico, económico e social da provincia e de Galicia. A Vicerreitoría do Campus de Ourense xunto coa Vicerreitoría de Investigación, Transferencia e Innovación da Universidade de Vigo queremos agradecer o apoio da Deputación Provincial de Ourense, así como o esforzo realizado polas investigadoras e investigadores que participaron nesta nova edición dos premios INOU. O compromiso das persoas investigadoras implicadas, a súa capacidade de innovación e o seu esforzo por transferir coñecemento útil á sociedade son a mellor expresión do valor da universidade como motor de progreso e transformación.

Implementación dunha estación terrea para o seguimento de satélites no campus de Ourense

Uxía García Luis,¹ Manuel Diz-Folgar,¹ Pablo Francisco Fernández Fernández,² Alfredo Ivorra-Sineiro,² e Ignacio Gonzalez-Rua²

*¹Departamento de Enxeñaría Mecánica, Máquinas e Motores Térmicos e Flúidos,
campus de Vigo, Universidade de Vigo*

²Departamento de Teoría do sinal e Comunicaci3ns, campus de Vigo, Universidade de Vigo

*uxia.garcia.luis@uvigo.gal, manuel.diz.folgar@uvigo.gal, pablofrancisco.fernandez@uvigo.gal,
alfredo.ivorra.sineiro@uvigo.gal, ignacio.gonzalez.rua2@uvigo.gal*

Resumo

A educaci3n en enxeñaría espacial enfr3ntase ao reto de conectar a teor3a coa pr3ctica, dificultado polos altos custos dos materiais, fabricaci3n e acceso ao espazo. Este traballo presenta unha proposta innovadora: integrar unha estaci3n terrestre de baixo custo no campus de Ourense e conectala 3 rede global SatNOGS. Esta infraestructura perm3telle ao estudantado participar directamente na recepci3n de datos de sat3lites reais, facilitando unha aprendizaxe pr3ctica e conect3ndoos coa comunidade cient3fica internacional. A iniciativa bas3ase na experiencia da Universidade de Vigo, que xa lanzou e operou con 3xito catro misi3ns CubeSat. Ao incorporar operaci3ns reais de sat3lites nas pr3cticas, os estudantes poden aplicar os seus coñecementos te3ricos en contextos reais, adquirindo competencias clave para a súa futura carreira no sector espacial. O cap3tulo destaca o valor da metodolox3a «aprender facendo», que favorece o desenvolvemento de habilidades t3cnicas en sistemas satelitais, especialmente no segmento terrestre, un 3mbito con alta demanda de profesionais. Tradicionalmente, este tipo de postos require unha longa formaci3n pr3ctica por parte

das empresas; porén, esta proposta contribúe a reducir esa curva de aprendizaxe ao dotar o estudiantado de coñecementos operativos aplicables de inmediato. Tamén se subliña a importancia da fase posterior ao lanzamento dun satélite, que implica unha planificación coidadosa, execución de operacións e resolución de problemas en tempo real desde puntos remotos. Todo isto ofrécelle ao alumnado unha visión integral das misións espaciais e mellora a súa preparación profesional, reforzando a conexión entre universidade e industria, e formando profesionais máis capacitados para os retos do sector aeroespacial.

Palabras clave: CubeSats, estación terrea, NewSpace, SDR e SatNOGS

1 Introducción

1.1 Contexto tecnolóxico e educativo do segmento terrestre no «NewSpace»

Nas últimas décadas, a chamada revolución «NewSpace» contribuíu á democratización do acceso ao espazo mediante o desenvolvemento de tecnoloxías máis accesibles e eficientes [1]. Os CubeSats son un exemplo desta transformación, xa que lles permiten a universidades e a pequenas organizacións participar en misións espaciais a custos antes impensables. Neste contexto, as estacións terrestres de baixo custo emerxen como unha solución viable para complementar estas misións, ofrecendo a posibilidade de recibir imaxes e datos en tempo real desde satélites.

Historicamente, o acceso a datos satelitais estaba restrinxido a grandes institucións debido ao custo e á complexidade das infraestruturas necesarias. Porén, a expansión de tecnoloxías como os receptores Software-Defined Radio (SDR), en particular a aparición do RTL-SDR, permitiu que a recepción de sinais de satélites estea ao alcance de operadores afeccionados e centros educativos cun investimento reducido. Plataformas colaborativas como SatNOGS aproveitan esta infraestrutura distribuída e aberta para facilitar a recepción e a análise de datos satelitais a nivel global.

O uso destas estacións no ámbito académico, especialmente en escolas técnicas e facultades de enxeñaría aeroespacial, representa unha oportunidade para introducir metodoloxías activas de aprendizaxe. Os e as estudantes poden adquirir habilidades prácticas en telecomunicacións espaciais, deseño de sistemas receptores e procesamento de sinais, áreas clave para a súa inserción profesional no sector. Exemplos como o proxecto BIXO da Universidade de Vigo amosan o potencial destas iniciativas para fomentar a participación estudantil en misións reais.

1.2 Motivación

A instalación dunha estación terrea de recepción de sinais no campus de Ourense representa un paso de enorme relevancia na integración de tecnoloxías de seguimento satelital na contorna académica e investigadora do campus e da provincia de Ourense. Este proxecto desenvolveuse coa intención de crear unha infraestrutura versátil e accesible que democratice o acceso a datos satelitais mediante a súa conexión á rede aberta SatNOGS e a obtención de datos satelitais de ADSB e NOAA. Esta plataforma global, recoñecida como unha referencia no seguimento de satélites de órbita baixa, garante que a información recollida sexa accesible a calquera usuario/a interesado en aproveitala para investigacións científicas, proxectos educativos ou aplicacións tecnolóxicas.

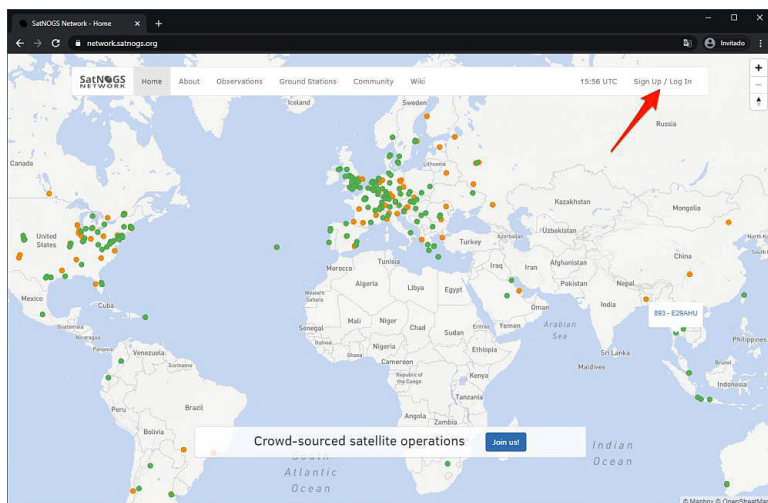


Figura 1. Rede de SatNOGS a nivel global

O proxecto destaca non só pola súa capacidade de proporcionar unha infraestrutura técnica avanzada no campus de Ourense, senón tamén polo seu valor formativo e social. Foi deseñado para darlle soporte á formación dos futuros enxeñeiros/as aeroespaciais, especialmente en aspectos relacionados coas telecomunicacións e co procesamento de datos satelitais, áreas cruciais no ámbito da enxeñaría moderna. Ademais, abre novas oportunidades para proxectos multidisciplinares que contribúen á xestión ambiental, á prevención de desastres naturais e ao desenvolvemento tecnolóxico

rexional. Ao combinar tecnoloxías de baixo custo con solucións innovadoras, este proxecto demostrou ser unha aposta eficiente e efectiva para mellorar as capacidades do campus, ao posicionalo como un referente no uso de tecnoloxías espaciais no ámbito rexional e nacional. A instalación ofrece, así, unha plataforma de vangarda que conecta Ourense coa comunidade global de seguimento satelital e promove a participación activa de investigadores e estudantes no desenvolvemento de solucións prácticas e innovadoras.

2 Obxectivos

O proxecto tivo como obxectivo principal establecer no campus de Ourense unha infraestrutura capaz de seguir satélites en tempo real, facilitando a descarga de datos e a telemetría para o uso público. Esta iniciativa xurdiu ante a necesidade de impulsar a investigación, a innovación e a colaboración no ámbito das tecnoloxías aeroespaciais, así como de fomentar o interese pola enxeñaría aeroespacial e as ciencias do espazo entre o alumnado e o persoal investigador. Ademais, a dispoñibilidade de datos satelitais de balde representa un recurso moi valioso para proxectos científicos e ambientais de todo tipo.

Como obxectivos secundarios pódense destacar:

- **Posicionamento na rede mundial de estacións terreas.** A participación na rede SatNOGS permitiulle ao campus de Ourense converterse nun nodo de recepción de datos de referencia, compartindo información con afeccionados e profesionais de todo o mundo. Isto posibilitou un maior recoñecemento internacional, reforzando a colaboración coa comunidade de radioaficionados e outras entidades interesadas en tecnoloxías de seguimento satelital.
- **Uso didáctico en titulacións de enxeñaría aeroespacial.** O proxecto foi integrado en diversas materias de grao e mestrado, ofrecéndolles aos e ás estudantes unha experiencia práctica en ámbitos como deseño de sistemas de telecomunicación, procesamento de sinal ou xestión de datos espaciais. Grazas a iso, melloráronse as competencias do alumnado en proxectos reais, o que reforza o seu perfil académico e profesional de cara ao futuro.
- **Impulso á innovación local e rexional.** A infraestrutura creada serviu como un polo de atracción para empresas e emprendedores do sector TIC, propiciando a creación de sinerxías e novas oportunidades de negocio no eido aeroespacial. O

proxecto contribuíu así á dinamización económica da provincia, consolidando o campus de Ourense como un ecosistema favorable para a innovación.

- **Vantaxe competitiva en futuras convocatorias.** A experiencia adquirida e a infraestrutura tecnolóxica dispoñible outórganlle ao campus de Ourense unha posición destacada en convocatorias de proxectos relacionados co sector aeroespacial. Isto promoveu alianzas estratéxicas con outras institucións e empresas, reforzando o liderado do campus no ámbito da investigación e a tecnoloxía espacial.

3 Metodoloxía

3.1 Casos de uso

Para o deseño do segmento terrestre, identificáronse os principais casos de uso en función do seu impacto educativo, viabilidade e valor académico.

3.1.1 Recepción de imaxes meteorolóxicas

As estacións terrestres para recibir datos meteorolóxicos de satélites da NOAA [2] existen desde os anos sesenta, cando se lanzaron os primeiros satélites meteorolóxicos como parte do programa Television Infrared Observation Satellite (TIROS). O primeiro satélite NOAA da serie Polar Orbiting Environmental Satellites (POES) lanzouse en 1970, seguido doutros satélites de órbita polar deseñados para transmitir datos na banda L (137-138 MHz), que segue sendo empregada na actualidade.



Figura 2. Imaxe obtida pola estación terrestre de seguimento de satélites NOAA na Universidade de Vigo en 2003, no Centro de Observación Remota do CACTI

Nos primeiros anos, o acceso a estes datos estaba limitado a grandes institucións gobernamentais e científicas. Porén, a medida que a tecnoloxía de recepción de radiofrecuencia se foi abaratando e facendo máis accesible nos anos noventa, comezaron a aparecer estacións terrestres construídas por radioaficionados/as.

Un punto de inflexión clave foi o desenvolvemento dos receptores SDR nos primeiros anos do século XXI, especialmente coa aparición de dispositivos de baixo custo como o RTL-SDR (lanzado en 2010), que permitiron que calquera persoa, cunha antena sinxela e software de código aberto, poida recibir imaxes en tempo real dos satélites NOAA.

3.1.2 Recepción de telemetría e balizas de CubeSats

O desenvolvemento dos CubeSats comezou en 1999 como un estándar creado pola California Polytechnic State University e a Stanford University co obxectivo de facilitar o deseño e o lanzamento de pequenos satélites de baixo custo para a investigación académica. O primeiro CubeSat lanzouse en 2003 e, desde entón, a súa popularidade aumentou debido ao seu baixo custo e facilidade de despregamento, especialmente coa emerxencia do sector «NewSpace» na década de 2010.

A telemetría dos CubeSats transmítese habitualmente nas bandas VHF (137-138 MHz), UHF (400-450 MHz) e S (2.4-2.5 GHz) [3], e utilízase para monitorizar o estado e o funcionamento do satélite. A maioría dos CubeSats empregan modulación por desprazamento de fase (PSK), como BPSK, GFSK ou QPSK, para transmitir datos, o que require estacións terrestres capaces de decodificar estes sinais.

O crecemento dos CubeSats impulsou iniciativas como SatNOGS, unha rede global de estacións terrestres de código aberto fundada en 2014, que lle permite a calquera persoa acceder á telemetría de satélites. Desde a súa creación, SatNOGS apoiou o establecemento de estacións terrestres comunitarias en todo o mundo, xogando un papel clave na democratización do acceso aos datos de pequenos satélites.

3.1.3 Recepción de ADS-B

O sistema ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) [4] foi inicialmente proposto nos anos noventa como unha mellora fronte aos sistemas de radar tradicionais para o seguimento de aeronaves, como se mostra na figura 3. A súa implementación operativa comezou na década de 2000, e para o ano 2020 fíxose obrigatorio en moitos países, como os Estados Unidos e os da Unión Europea, para todas as aeronaves que operen en espazo aéreo controlado por riba de certos niveis de altitude.

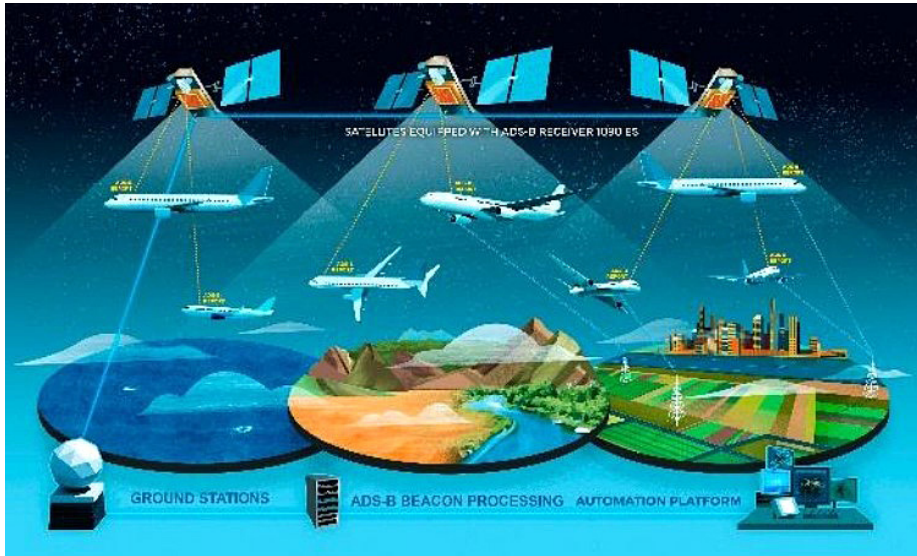


Figura 3. Concepto de operacións (CONOPS) do sistema ADS-B coa constelación Iridium e estacións terrestres [5]

O sistema ADS-B transmite información sobre a posición, altitude e velocidade dunha aeronave na frecuencia de 1090 MHz, utilizando o sistema de posicionamento global (GPS) para calcular a súa localización e envíala a intervalos regulares. Os sinais ADS-B poden captarse facilmente mediante receptores SDR, o que, desde 2010, permitiu a creación de redes como FlightAware e ADSBExchange, que recollen datos globais transmitidos por estas balizas de forma aberta e accesible.

3.2 Arquitectura

A estación foi deseñada para ser modular, flexible e eficiente, empregando tecnoloxías dispoñibles no mercado e adaptadas a un contexto académico. A súa arquitectura abrangue unha combinación de antenas específicas para diferentes aplicacións, sistemas de procesamento avanzados e software optimizado para asegurar o seguimento continuo de satélites e a captación de datos de alta calidade.

- **Antena helicoidal para NOAA.** A antena helicoidal foi seleccionada pola súa eficiencia na captación de sinais meteorolóxicos, como os emitidos polos satélites NOAA. Estas transmisións proporcionan imaxes e datos que son valiosos para proxectos relacionados co estudo do clima e a monitorización ambiental.

- **Antena de UHF (70 cm).** Esta antena, adaptada especificamente para a banda de radiofrecuencia empregada por CubeSats e outros satélites de órbita baixa, foi configurada para captar telemetría de misións científicas e educativas. A polarización circular axuda a reducir interferencias e a mellorar a estabilidade dos sinais, incluso en condicións adversas.
- **Antena discono.** Deseñada para cubrir un amplo rango de frecuencias, esta antena omnidireccional permite a recepción de sinais diversos, incluíndo balizas e o sistema ADS-B empregado para a telemetría de aeronaves. A súa capacidade para recibir sinais sen necesidade de orientación a un satélite concreto foi fundamental para optimizar o deseño e facilitar a súa integración inicial no sistema.

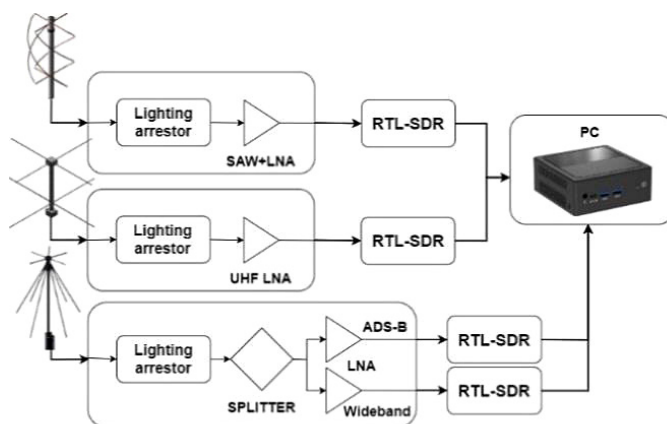


Figura 4. Arquitectura do sistema de antenas e control

3.2.1 NOAA

O segmento dedicado a NOAA comeza cunha antena Quadrifilar Helix Antenna (QHA) de polarización circular dereita (Right-Hand Circular Polarization, RHCP) de tipo Commercial Off-The-Shelf (COTS), sintonizada a 137 MHz [6], seguida dun protector contra raios e un filtro de banda de parada FM. O uso dunha antena QHA permite obter a polarización e o patrón de radiación axeitados para recibir sinais dos satélites NOAA ou doutros que operen nesta banda.

As figuras 5 e 6 ilustran o rendemento da antena QHA e dun amplificador de baixo ruído (Low Noise Amplifier, LNA) alimentado mediante *bias tee*, que ofrece unha ganancia de 40 dB.

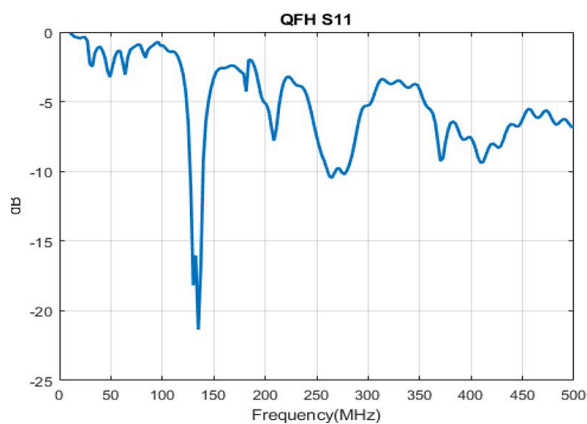


Figura 5. S11 da antena QHA

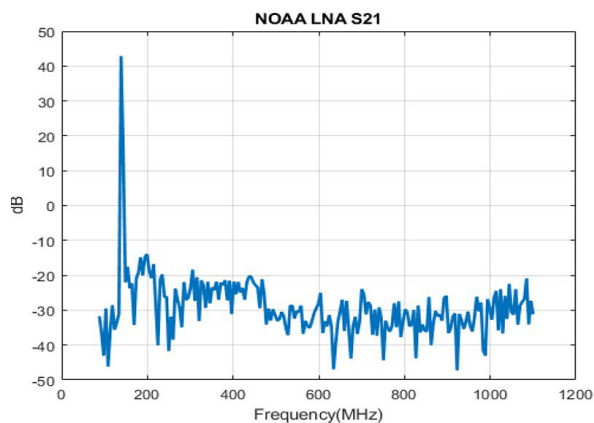


Figura 6. S21 do LNA para NOAA

A través dun cable coaxial LMR-400, a cadea conéctase ao receptor, un RTL-SDR V4 que tamén alimenta o LNA utilizando o *bias tee* integrado. O resultado é a cadea representada na figura 7.

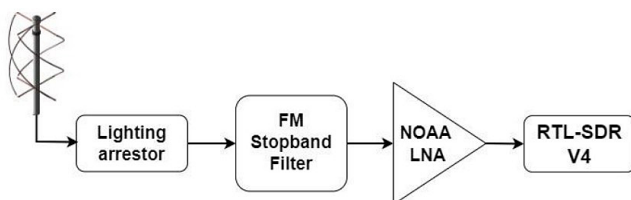


Figura 7. Diagrama da arquitectura da cadea RF de NOAA

3.2.2 UHF 70 cm

O segmento de UHF 70 cm comeza cunha antena tipo *turnstile* de polarización circular (CP) con 3 dBi de ganancia, que cobre a banda como se mostra na figura 8. A esta séguelle un amplificador de baixo ruído (LNA), cuxo S21 se representa na figura 9, e un cable coaxial LMR-400 que conecta co receptor RTL-SDR [7]. A arquitectura detallada represéntase na figura 10, xunto cunha táboa cos materiais empregados (táboa 2).

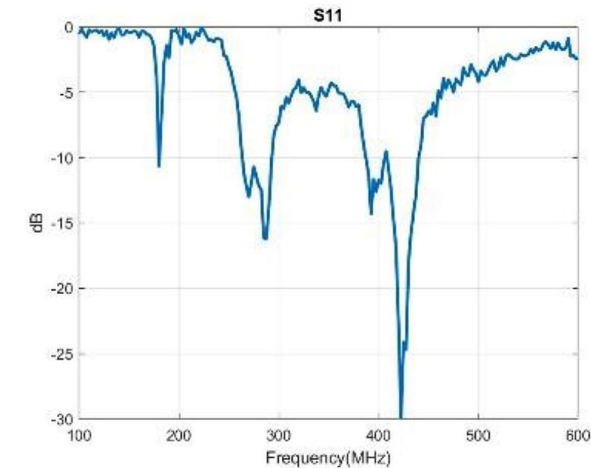


Figura 8. S11 da antena *turnstile* CP

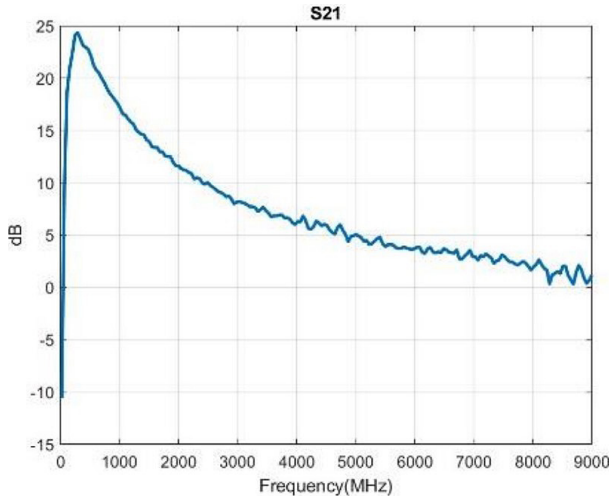


Figura 9. S21 do LNA de UHF

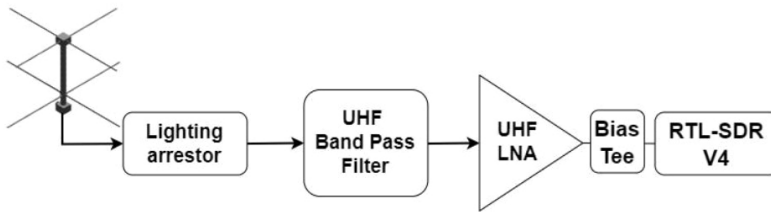


Figura 10. Diagrama de arquitectura da cadea RF UHF

3.2.3 ADS-B e multipropósito

Para os segmentos de ADS-B [8] e de uso multipropósito utilízase unha antena tipo discono. Este tipo de antena foi seleccionada debido á súa ampla banda de frecuencia, que abrangue desde a banda de FM ata a banda L, como se mostra no gráfico de S11 da figura 11.

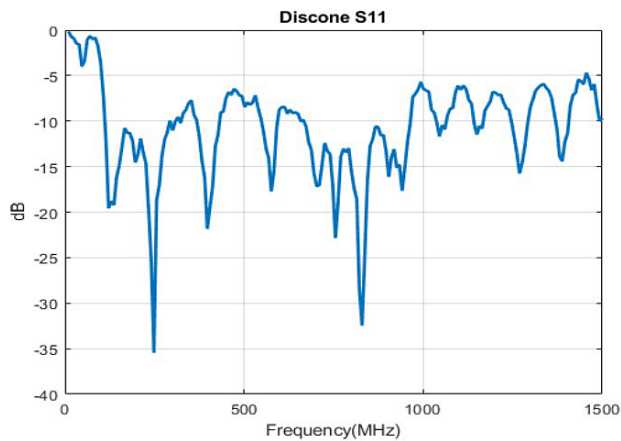


Figura 11. S11 da antena discono

Os sinais recibidos pola antena entran nunha cadea de radiofrecuencia (RF) que comeza cun divisor (*splitter*), o cal separa o sinal cara a dúas liñas: unha cun LNA específico para ADS-B, e outra cun LNA de banda larga. Os gráficos S21 destes amplificadores represéntanse nas figuras 12 e 13. Despois de cada LNA, hai un tramo de cable coaxial que conecta con dous receptores RTL-SDR distintos. A arquitectura deste segmento represéntase na figura 14.

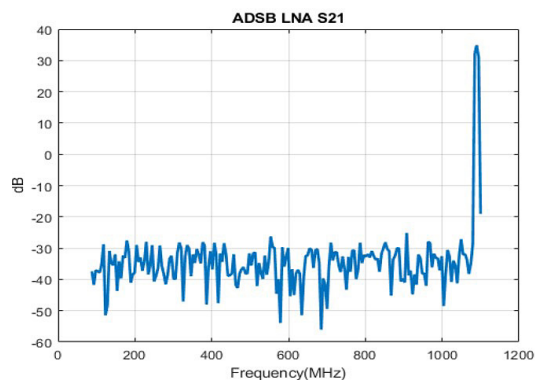


Figura 12. S21 do LNA para ADS-B

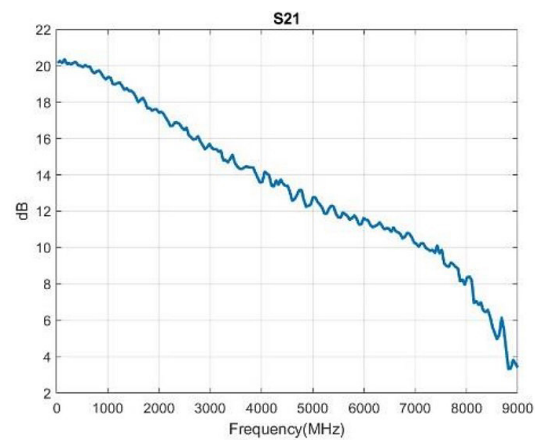


Figura 13. S21 do LNA de banda larga

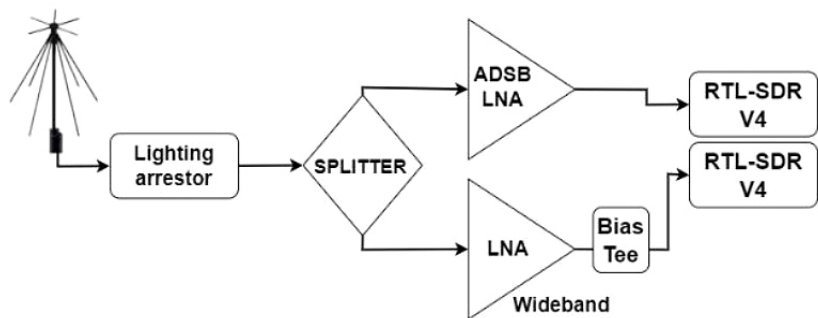


Figura 14. Diagrama de arquitectura da cadea RF do segmento discono

3.3 Implementación

Para procesar e xestionar os sinais recibidos polos catro receptores SDR, todos eles están conectados a un miniordenador de baixo consumo e sen ventilador, no que se executa o soporte lóxico (software) necesario. O sistema funciona principalmente cun servidor Ubuntu, onde diferentes contedores Docker xestionan cada unha das aplicacións. Para facilitar a súa administración, emprégase Portainer, unha plataforma web que simplifica o desenvolvemento e a supervisión de contedores e *stacks* Docker.

Co obxectivo de separar os distintos receptores e asocialos aos seus contedores específicos, cada RTL-SDR foi configurado cun número de serie diferente. Isto permite crear regras UDEV personalizadas que xeran ligazóns simbólicas para asociar cada receptor SDR co contedor correspondente.

Para recibir imaxes de satélites meteorolóxicos mediante o protocolo APT, desenvolveuse a aplicación PiNOAAV2 nun contedor Docker. Esta aplicación automatiza todo o proceso: dende a planificación das pasadas de satélites, ata a recepción dos sinais e o procesamento das imaxes, ofrecendo unha solución integral para o seguimento de satélites meteorolóxicos. Ademais, conta cunha interface web, que se mostra na figura 15.

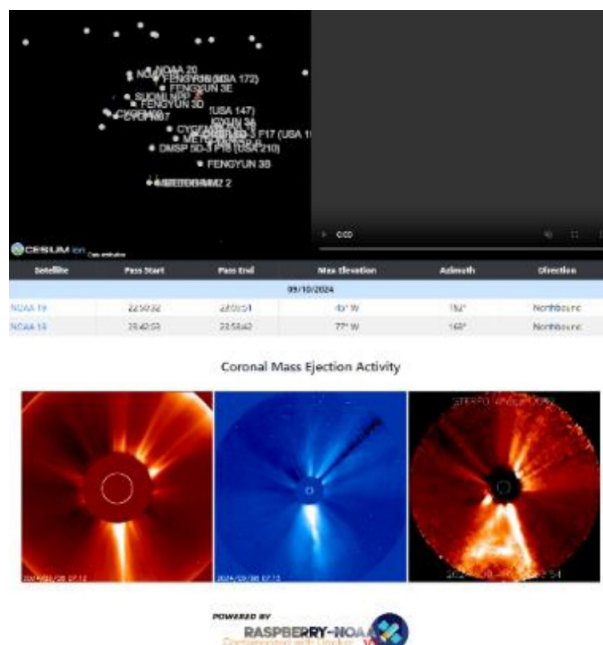


Figura 15. Interface de usuario/a de NOAA

No segmento UHF, desenvolveuse un cliente SatNOGS tamén en contedor, permitindo a recepción de diversos satélites na banda UHF. Isto proporcionalles tanto á comunidade como ao alumnado acceso a unha estación terrestre versátil, fomentando a aprendizaxe e a participación en comunicacións satelitais.

Para a recepción de ADS-B, utilizouse a aplicación PIAware, que ofrece unha interface web con mapa e historial das balizas recibidas (figura 16). Este sistema proporciona unha visualización sinxela dos sinais recibidos e serve como un excelente exemplo dun sistema de comunicación baseado en balizas.

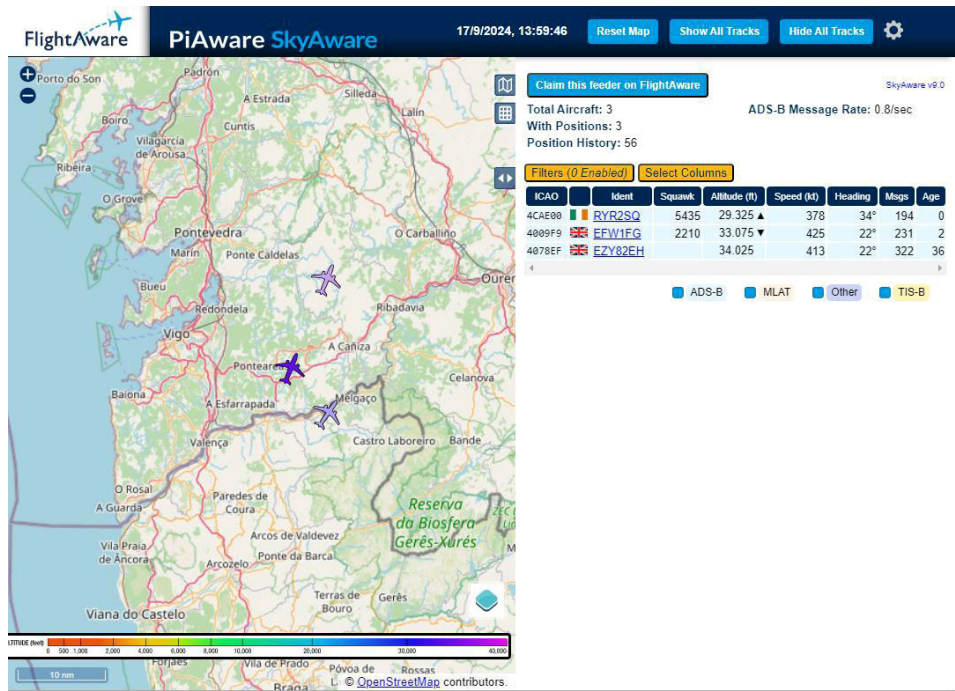


Figura 16. Interface de usuario de ADS-B

Para o receptor RTL de propósito xeral, empregouse a aplicación OpenWebRX, que permite monitorizar sinais desde un navegador web. Esta ferramenta permite recibir, escoitar e decodificar sinais sen necesidade de instalar software adicional, e tamén pode ser substituída facilmente por software desenvolvido internamente se fose necesario.

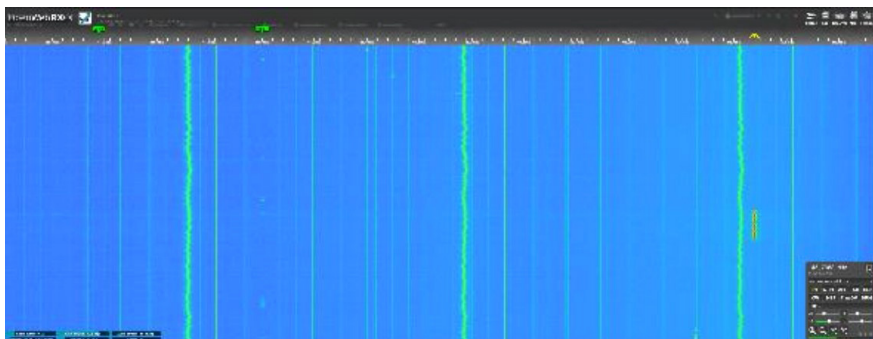


Figura 17. Interface de usuario/a de OpenWebRX

4 Resultados e impacto do proxecto

A estación terrestre foi instalada no tellado dun dos edificios do Campus Auga (figura 18). Cada antena está montada no seu propio mastro, ancorado aos muros do tellado e acompañado dun pararraios para protección.



Figura 18. Estación terrea no tellado do edificio do Campus Auga

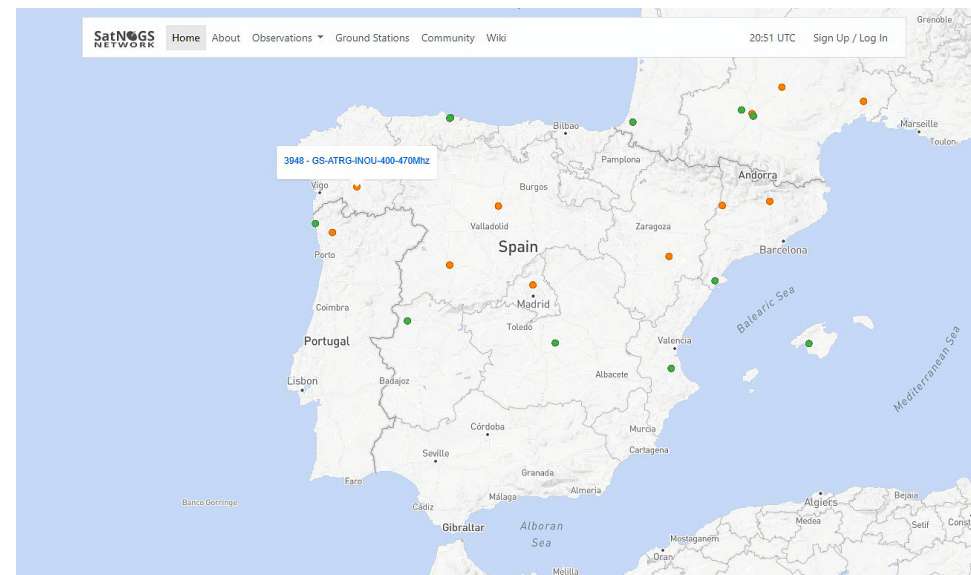


Figura 19. Inclusión da estación terrea na rede global SatNOGS

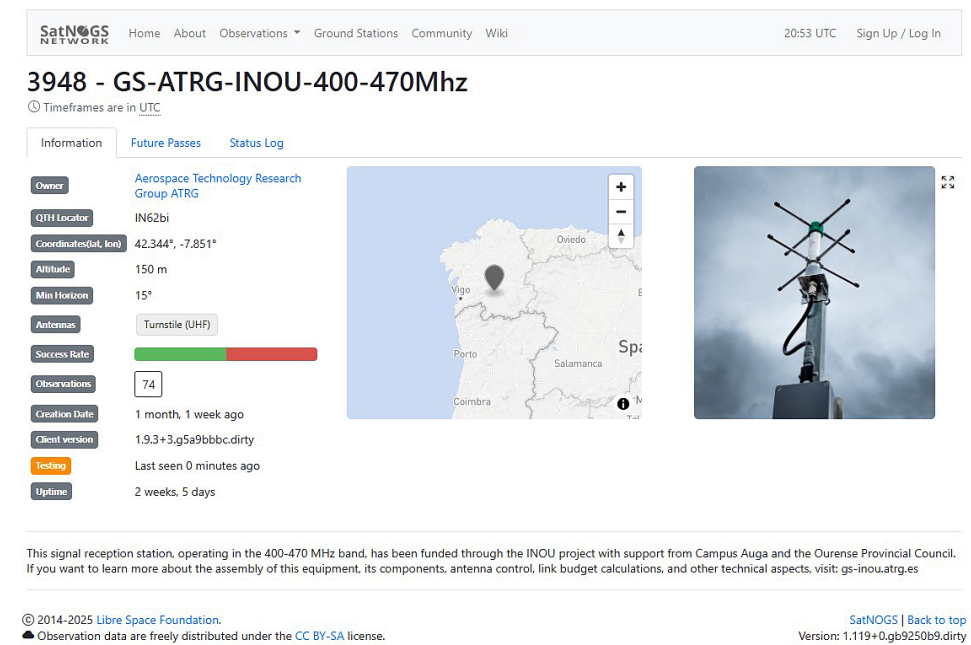


Figura 20. Detalles da estación terrea na rede SatNOGS

Ao remate do proxecto, pódense destacar varios logros relevantes:

- **Consolidación da rede e visibilidade internacional.** O campus de Ourense converteuse nun nodo fiable da rede SatNOGS, reforzando o seu prestixio e a súa capacidade de colaborar en proxectos globais de seguimento e análise de datos satelitais.
- **Formación de capital humano.** Numerosos estudantes de Enxeñaría Aeroespacial e doutras titulacións afíns tiveron acceso a un laboratorio vivo onde puideron aplicar os seus coñecementos en contornos reais, adquirindo habilidades moi demandadas no mercado laboral.
- **Impulso a novas iniciativas.** A experiencia lograda neste proxecto serviu de base para propostas en convocatorias competitivas, así como para establecer colaboracións con outras universidades e centros de investigación nacionais e internacionais.
- **Integración e cohesión social.** A través de charlas de divulgación, demostracións públicas e colaboración con asociacións de radioaficionados, conseguiuase achegar a ciencia e a tecnoloxía á sociedade local, reforzando o vínculo entre a universidade e a contorna.

Ademais, levouse a cabo a presentación dos avances do proxecto no congreso máis relevante no ámbito internacional sobre espazo, o International Astronautical Congress 2024 (IAC 2024) [9]. Podemos destacar o interese que suscitou os avances levados a cabo entre o público asistente.

5 Conclusións e perspectiva de futuro

Coa finalización deste proxecto, o campus de Ourense sentou as bases para converterse nun referente en tecnoloxías de seguimento satelital e enxeñaría aeroespacial no ámbito rexional e internacional. A infraestrutura instalada, xunto co coñecemento adquirido, permite seguir avanzando en proxectos de maior envergadura, ben sexan dedicados á observación da Terra, á comunicación ou á experimentación en órbita baixa.

A curto prazo, espérase mellorar aínda máis o sistema de apuntamento e incorporar novas antenas especializadas para cubrir rangos de frecuencia adicionais, ampliando a gama de satélites rastrexables. Tamén se prevé reforzar os vínculos con outras institucións e empresas para desenvolver proxectos colaborativos de grande impacto.

Este proxecto, xa rematado, deixa como legado unha infraestrutura operativa, un conxunto de protocolos ben documentados e un cadro de profesionais e estudantes formados. Todo isto permitirá non só manter a actividade de recepción de datos satelitais, senón tamén afrontar con garantías os retos futuros que se presenten no eido espacial, contribuíndo ao crecemento científico, tecnolóxico e económico da comarca e do conxunto de Galicia.

6 Referencias

- [1] Delphine & Toulza, Sandrine. (2019). From new space to big space: How commercial space dream is becoming a reality. *Acta Astronautica*. 166. 10.1016/j.actaastro.2019.08.031.
- [2] Isha & Newcomb, Laura & Matlock, Gary & Bayler, Eric & Christerson, Neil & Grasso, Monica & Harmon, Michelle & Liddel, Michael & Silver, Noaa & Marshak, Anthony. (2021). 2020 NOAA Science Report. 10.25923/pxeq-6g91.
- [3] A. Zeedan and T. Khattab, "CubeSat Communication Subsystems: A Review of On-Board Transceiver Architectures, Protocols, and Performance," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 88161-88183, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3304419.
- [4] M. Varga, Z. A. Polgár and H. Hedeşiu, "ADS-B based real-time air traffic monitoring system," 2015 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Prague, Czech Republic, 2015, pp. 215-219, doi: 10.1109/TSP.2015.7296255.
- [5] Conops ADS-B, Aireon is powering next-generation data products and analysis for the global aviation industry, (accessed 19.09.2024).
- [6] S. Mahmood, M. T. Mushtaq and G. Jaffer, "Cost efficient design approach for receiving the NOAA weather satellites data," 2016 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/AERO.2016.7500854.
- [7] Fischer, Michael & Scholtz, Arpad. (2010). Design of a Multi-mission Satellite Ground Station for Education and Research. *Advances in Satellite and Space Communications*, International Conference on. 58-63. 10.1109/SPACOMM.2010.13.
- [8] Peterson, Michael & Hunt, Paul & Weiß, Konrad. (2017). Mapping Air Population. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. 1. 10.1007/s41651-017-0005-3.
- [9] García-Luis, U., Fernández-Fernández, P.F., Diz-Folgar, M., Ivorra-Sineiro, A., Camanzo-Mariño, A., Fortes-Martínez, B., Ulloa-Sande, C., Arias-Acuña, M., Orgeira-Crespo, P. (2024) From ground up: incorporating a low-cost ground station to master satellite subsystems design through data harvesting. 75th International Astronautical Congress (IAC).

Integración de IMU e GNSS. Estimación do estado do firme

M. Díaz-Cacho¹, M. G. Rivera¹, and A. Chaves²

¹*Dept. Ing. Sistemas y Automática, Campus de Ourense, Universidade de Vigo*

²*Research Centre for Endogenous Resource Valorization,*

Polytechnic Institute of Portalegre, Portugal

mcacho@uvigo.gal, mgrivera@uvigo.es, andrem@ipportalegre.pt

Resumo

Este traballo presenta un sistema de integración de sensores proporcionada por un dispositivo móbil para contornas vehiculares. Os sensores integrados son un IMU e un receptor GNSS, que permiten crear un sistema de estimación do estado do firme baseado na variación da aceleración vertical detectada polo IMU e asocio a unhas coordenadas xeodésicas. Para dotar ao sistema técnico dun marco teórico defínense unidades específicas de rugosidade baseándose nas mostras da aceleración medida e inspiradas nas técnicas tradicionais de medida da rugosidade de superficies. O sistema sèrvese dunha topoloxía ITS tradicional, onde o dispositivo móbil é a OBU con capacidade de transmisión de datos ao servidor C-ITS na nube para ser procesados e determinar os parámetros resultantes. Realizáronse probas do sistema nunha contorna viaria real con resultados satisfactorios, onde se detectaron diferenzas nos tipos de firme e fendas na estrada.

Palabras clave: ITS, rugosidade de estrada, GNSS, IMU, sensorización, integración de sensores e percepción, localización, construción de mapas.

1 Introducción

Os actuais sistemas vehiculares inclúen funcionalidades de axuda á condución e de confort dependentes dos datos recolleitos por diversos sensores instalados no vehículo. Aplicacións como o trazado de roteiros están moi estendidas e son amplamente utilizada en diversos campos e sectores, desde a planificación de viaxes ata a loxística empresarial. Estas mesmas aplicacións atópanse nos chamados teléfonos móbiles intelixentes (en diante *smartphone* polo seu termo anglosaxón), o que permite dotar destas funcionalidades a vehículos que ou non as levan incorporadas ou non as teñen actualizadas. Así, o uso de *smartphones* para aplicacións de axuda á condución permite dotar a un vehículo dese tipo de capacidades de forma modular, practicamente ilimitada e cun ciclo de vida moito mais dinámico que o do propio automóbil.

A inmensa maioría dos *smartphones* teñen capacidades de sensorización, comunicacións, programación e procesamento de datos. Dispoñen dunha MEMS IMU (Unidades Micro-electromecánicas e Unidades de Medida Inercial) compostas por acelerómetros e giroscopios para a estimación da orientación e poder conmutar a posición da imaxe na pantalla entre horizontal e vertical. Ademais, dispoñen de capacidades de estimación da posición sobre a superficie terrestre cunha exactitude da orde dunhas decenas de centímetros a unidades de metro. Así, os *smartphones* son dispositivos altamente capacitados para o prototipado de solucións ITS móbiles, dado que dispoñen de:

- numerosos sensores: micrófono, cámara, posicionamento, IMU.
- diferentes interfaces de comunicación: 5G, Wifi, Bluetooth, NFC.
- sistema operativo e contorna de desenvolvemento.

Este traballo expón unha proba de concepto para aproveitar as capacidades dos *smartphones* instalados nun vehículo para establecer en tempo real e de forma distribuída un rexistro do estado do pavimentado de estradas. Este estado, que inclúe información sobre a calidade da estrada, a presenza de fochancas, pavimentación recente ou calquera outra condición, pode afectar significativamente a seguridade e comodidade de viaxe.

Nos últimos anos, comezouse a estudar a integración de datos sobre o estado das estradas en aplicacións cartográficas. Algunhas plataformas utilizan tecnoloxías como

sensores en vehículos conectados, datos recompilados polos usuarios e sistemas de vixilancia gobernamentais para proporcionar información actualizada sobre as condicións das estradas. Estes datos dinámicos permiten aos condutores tomar decisións informadas sobre o roteiro para seguir, evitando tramos de estrada en mal estado e mellorando a seguridade nas viaxes. O estado das estradas rexístrase de forma manual en diversas bases de datos das Deputacións Provinciais como na de Ourense [1], pero a súa valoración é apreciativa, con estados como “Boa”, “Mala” ou “Regular” sen unha actualización permanente nin dispoñer de ningún criterio obxectivo e cuantitativo.

Este proxecto pretende utilizar a alta capacidade de integración dos *smartphones* para medir de forma oportunista a posición e as vibracións en tempo real, e asocialas co grao de descomposición do estado da estrada. Para iso propón o desenvolvemento dun sistema que permite asociar datos de posicionamento con datos de rugosidade da estrada mediante sensores de posición GNSS e vibracións IMU. O sistema ofrece o envío de datos á nube mediante comunicacións 4G/5G, recalculando as medias de vibración dos móbiles para optimizar as transmisións.

A integración do *smartphone* no vehículo xa se estudou en [2] entre outros, onde se ofrece mesmo un método de calibración do dispositivo fundamentalmente no seu posicionamento dentro do vehículo. Outros estudos xa utilizaron o IMU para a detección de irregularidades nas estradas e mesmo asociándoo a niveis de consumo de combustible [3, 4, 5] aínda que non o asocian de forma directa ao posicionamento nin para o rexistro do estado. En [6] preséntase unha estado da arte no uso de *smartphones* para a medida do estado dos firmes de estradas. Este traballo achega unha visión cara a un uso máis xeneralizado, orientado á recolección xenérica de datos desde calquera tipo de vehículo e o envío da información cara a servizos de procesamento de datos no C-ITS que puidesen determinar o estado da estrada mediante técnicas de intelixencia artificial ou similares.

O artigo está organizado da seguinte forma: tras a presentación e contextualización da proposta realizada nesta sección 1 preséntase o marco teórico de traballo na sección 2 onde se definen os parámetros para medir. Na sección 3 preséntase o sistema contextualizado e unha topoloxía baseada nos estándares ITS, así como o proceso de calibración da OBU e o tratamento de datos. Os resultados móstranse na sección 4 e finalmente as conclusións e liñas futuras aparecen na sección 5.

2 Marco teórico

No acabado dunha superficie identifícanse:

- Defectos de forma, que poden ser abultamentos ou fendas, inclinacións, en resumo, unha falta de planicidade. Afectan o seu uso, como xeración de ruídos e vibracións.
- Rugosidade. A rugosidade é unha característica mais ou menos constante dunha superficie concreta, onde as diferenzas entre picos e vales nun corte transversal seguen un patrón parecido a unha onda. Afectan o rozamento, rodadura, desgaste, etc, e tamén teñen un efecto nas vibracións e os ruídos.

Este traballo pretende identificar graos de defectos e rugosidades da superficie das estradas mediante a medición das vibracións. A medición de rugosidades faise mediante instrumentos chamados rugosímetros. Este traballo aproveitará os termos de medición de rugosidades para a súa proxección sobre a medida do estado de estradas.

A modo de recordatorio enuméranse os parámetros para ter en conta para a medición de rugosidades:

- Rugosidade ou textura primaria.
- Ondulación ou textura secundaria: desviación espacial media entre os defectos de forma Ou_n .
- Lonxitude de Corte ou *Cutoff*: distancia de referencia para distinguir ondulación e rugosidade. Se $l_c \leq Ou_n$ mídese a Ondulación; se $l_c > Ou_n$ mídese a rugosidade.
- Lonxitude de avaliación normalizada (l_n) é a lonxitude onde se realiza a medida e pode considerarse un valor ao redor de $5l_n$.
- Liña Media (L_m) é a liña localizada na parte media do perfil transversal da superficie onde a suma das áreas de rugosidade por encima e por baixo da mesma son iguais.
- Rugosidade media (R_a) como a media aritmética do perfil de rugosidade da superficie en relación á Liña Media dentro da lonxitude de medición L_m . Calcúlase como

$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |y(x)| dy \quad [1]$$

Por aproximación pódese calcular o valor de R_a mediante o sumatorio dun número discreto de ordenadas (compoñente e) de puntos de perfil,

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad [2]$$

onde n é a cantidade de datos.

- Emprégase tamén a Rugosidade media cuadrática, sendo mais utilizada cando R_a presenta pouca resolución. Representase matematicamente como:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} y^2(x) dx} \quad [3]$$

e mediante aproximacións como:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2} \quad [4]$$

- Outra das medidas de rugosidade utilizadas é a Rugosidade media R_z definida na norma DIN 4768. É a media aritmética da rugosidade parcial Z_i de cada un dos módulos que forman a Lonxitude de medición. A rugosidade parcial Z_i é a suma das ordenadas dos picos e vales de perfil en cada módulo de medida.

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Z_i \quad [5]$$

Para a rugosidade de estradas adóitase utilizar o parámetro IRI (Índice de Rugosidade Internacional, ou *International Roughness Index*), que divide o desprazamento acumulado dunha suspensión vehicular entre a distancia percorrida durante a medida cando circula a 80 km/h [7]. As unidades son mm/m ou m/km. O IRI faise con todo impracticable en longos percorridos ante a necesidade de dispoñer de equipamento normalizado capaz de medir o desprazamento dun sistema de amortiguación.

A lonxitude de medición, ou módulo de medición da rugosidade dunha estrada debe ser definido tendo en conta varias particularidades, como a superficie de contacto do vehículo coa estrada e os tipos de estrada.

Ao utilizarse un sistema de instrumentación radicalmente diferente do utilizado habitualmente para a medida de rugosidades, propóñense novos termos de referencia para a medición de rugosidades de estrada.

Propónse o uso dunha nova medida chamada Varianza Cinemática de Estrada (*Kinematic Road Variance, R_v*) definida como o cadrado da desviación típica da aceleración no eixo da gravidade ao longo dun tramo de estrada definido. A Varianza Cinemática de Estrada será relativa ao dispositivo sensor e ao vehículo que o incorpore, polo que non poderá considerarse un valor absoluto, senón indicativo da rugosidade respecto a outras estradas medida co mesmo elemento sensor. Na ecuación [6], a aceleración no eixo da gravidade represéntase por a_z tendo en conta o posicionamento do IMU na figura 2 e a gravidade está representada por g .

$$R_v = \frac{\sum_{i=0}^n (a_{z_i} - g)^2}{n} \quad [6]$$

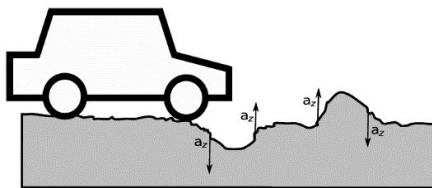


Figura 1. Detección de fochanca.

Para a selección dun valor de n é necesario facer uso do concepto de “*Rational Subgroups*”, concepto definido por *Shewart* [8,9] e que permite normalizar o uso dun grupo de datos para a realización de todas as medidas sobre o mesmo. Partindo da base dunha mostraxe periódica dos datos (T) e da necesidade dunha distancia mínima (D) para ter resultados representativos, o número de datos do “*Rational Subgroup*” (n) dependerá da velocidade do vehículo (v) da forma:

$$n = \frac{D}{vT} \quad [7]$$

Defínese a Magnitude de fochanca M_b como a a_z máxima medida por encima de K veces a media de $a_z = g$ sumada á raíz cadrada de R_v , é dicir

$$M_b = \max\{a_z | a_z > K(g + \sqrt{R_v}), \forall a_z\} \quad [8]$$

O parámetro K dependerá da sensibilidade do IMU e determina un criterio de diferenciación entre unha rugosidade e un defecto ou fochanca.

Como proba de concepto, utilizando un dispositivo sensor cun período de mostraxe de 20 ms consideraranse medidas en tramos dependentes da velocidade, baseándose no número de mostrax recollidas, e mantendo ese número en 500 mostrax de aceleración ($n = 500$). Así, para unha velocidade de 50 km/h, o tramo de medida será 140 m.

3 Prototipado

A contorna de traballo mantén a nomenclatura habitual en ITS, onde a OBU (*On Board Unit*) e a RSU (*Road Side Unit*) son os dispositivos dentro do vehículo e fóra do vehículo respectivamente. Ao utilizarse dispositivos *smartphone* con tecnoloxía de comunicacións 5G como OBU, a RSU é a BTS, polo que non aplica ningunha acción sobre a mesma ao depender o seu mantemento e administración dos operadores 5G. Na topoloxía ITS existe tamén un servidor na nube que permite centralizar tanto o almacenamento como o control dos servidos ITS; este servidor é chamado C-ITS [10]. Unha topoloxía de exemplo móstrase na figura 2.

No C-ITS almacenaranse os desprazamentos. Un desprazamento é un conxunto de rexistros dunha táboa formada polos campos IDE, Marca de Tempo, Posición (coordenadas Xeodésicas) e IMU (medidas de acelerómetro en 3 eixos). A cada desprazamento engádeselle un identificador único consistente nos campos IDE e a primeira marca de tempo do conxunto de marcas de tempo do desprazamento. Os criterios para a determinación dun comezo ou un fin de desprazamento poden ser variados, dependendo por unha banda de triggers de estado (momento do arranque/parada do vehículo) ou da velocidade do vehículo (velocidade cero e aceleración cero durante un número determinado de minutos implica fin de desprazamento).

Unificáronse nun mesmo eixo de tempos os datos capturados do IMU e do receptor GNSS. O receptor GNSS permite capturar datos con dous períodos fundamentais, 1 s ou 0.1 s. En cambio o IMU realiza unha captura de datos por eventos.

A técnica unificada para asociar un dato IMU cun dato GNSS foi aumentar a resolución do eixo de tempos ao máximo que se dispoñía nos datos IMU, é dicir, se se recollía un dato IMU no instante 0.123 s, a resolución máxima era de 1 ms.

Unha vez determinada, consideráronse tanto os desprazamentos como as aceleracións IMU como lineais e realizouse un interpolado *First Order Hold* (FOH). A efectos prácticos os datos tómanse a 1 ms, é dicir, a maior resolución temporal dispoñible.

O tratamento dos datos referido ao cálculo do R_v realízase unha vez que se reciben os rexistros no servidor C-ITS. O procesado inclúe o cálculo da desviación típica da aceleración vertical con media g , a identificación de fochancas e a resposta en frecuencia da aceleración nos tramos de medida.

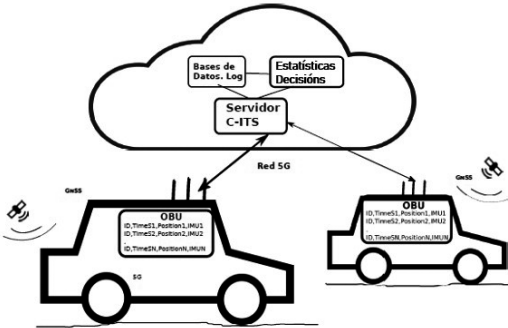


Figura 2. Sistema de captura de datos.

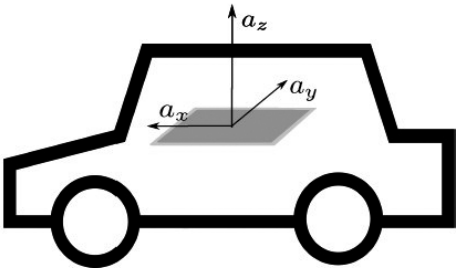


Figura 3. Posicionamiento OBU.

3.1 Calibración

Os teléfonos móbiles intelixentes ofrecen dous tipos de medicións. As primeiras magnitudes están referidas á cinemática do dispositivo, como o son os acelerómetros e os xiroscopios integrados nunha IMU. As outras magnitudes están referidas ás coordenadas terrestres, como pode ser o magnetómetro e sobre todo as coordenadas xeodésicas dos sensores GNSS.

O proceso de calibración engloba dous procesos:

- Posicionamento do sensor. Para o posicionamento do sensor IMU da OBU se parte do traballo de [2], onde se utiliza unha aproximación gaussiana para a

determinación do ángulo *Yaw*, a pesar de que neste traballo non é necesaria a determinación do devandito ángulo.

- Establecemento do patrón de vibracións do sensor e o vehículo. A calibración do patrón de vibracións do vehículo establécese a unha velocidade constante nun firme en excelente estado, ou directamente nun ralentí. Existen vehículos que poden dispoñer de dous patróns, como son os vehículos híbridos, onde a pegada de vibración do motor de combustión é moi diferente á do motor eléctrico.

A aceleración medida no eixo vertical con dirección ao centro da Terra (eixo *Z*) en estado estacionario é a reacción á aceleración da gravidade, de forma que cando o sensor está estable presenta un valor $a_z=g$ e cando cae a súa medida de aceleración *Z* é 0 ($a_z=g$).

Para o posicionamento recoméndase facer coincidir a orientación da OBU co vehículo (figura 3). Iso facilitará a determinación das direccións de movemento, o *Heading* e os ángulos de Euler (*Yaw*, *Pitch*, *Roll*). Así, o *smartphone* ten que ser fixado no cadro de mandos do vehículo, ou se fose posible, no chasis, nunha posición relativa a algún punto recoñecido no vehículo.

3.2 Tratamento de datos

Os diferentes sensores da OBU, a pesar de utilizar o mesmo reloxo teñen diferentes frecuencias de mostraxe ou mesmo teñen unha mostraxe por eventos. Para poder asociar os datos da IMU cos datos de posición se uniformiza o eixo de tempos mediante interpolación na maior das resolucións dispoñible polos sensores usando a técnica ZOH. Existen traballos previos de unificación de medidas nun só ficheiro de mostrax [11], aínda que sen o aproveitamento da máxima frecuencia de mostraxe.

Xéranse dous ficheiros en forma de rexistros indexados por unha marca de tempo. O primeiro ficheiro é o ficheiro de "Acc" que almacena as mostrax dos tres eixos do IMU (A_x , A_y , A_z) entre outros datos preprocesados. Pode verse o seu formato na táboa 1. O segundo ficheiro é o ficheiro de posicións (Pos) que garda as coordenadas xeodésicas (Latitude e Lonxitude). Este ficheiro é procesado para ser enchido mediante técnicas de interpolación lineal (*First Order Hold* - FOH) a unha resolución de milisegundos e poder así emparellar cos mesmos valores de tempo do ficheiro "Acc". O formato do ficheiro "Pos" pode verse na táboa 2, e o formato do ficheiro resultante do emparellamento móstrase na táboa 3.

Táboa 1: Ficheiro Acc	
Atributo	descrición
<i>Time</i>	Tempo en formato UNIX
<i>Ax</i> (<i>a_x</i>)	Aceleración na dirección lonxitudinal do dispositivo.
<i>Ai</i> (<i>a_e</i>)	Aceleración na dirección transversal do dispositivo.
<i>Az</i> (<i>a_z</i>)	Aceleración na dirección vertical do dispositivo.

Táboa 2: Ficheiro Pos	
Atributo	descrición
<i>Time</i>	Tempo en formato UNIX
<i>Lat</i>	Latitude medida ou calculada como FOH
<i>Lon</i>	Lonxitude medida ou calculada como FOH
<i>Dist</i>	Distancia métrica entre a posición anterior e a actual

Táboa 3: Ficheiro PosAcc	
Atributo	descrición
<i>Time</i>	Tempo en formato UNIX
<i>Time0</i>	Tempo en segundos desde a primeira mostra.
<i>Lat</i>	Latitude medida ou calculada como FOH
<i>Lon</i>	Lonxitude medida ou calculada como FOH
<i>Dist</i>	Distancia métrica entre a posición anterior e a actual.
<i>Ax</i> (<i>a_x</i>)	Aceleración na dirección lonxitudinal do dispositivo.
<i>Ai</i> (<i>a_e</i>)	Aceleración na dirección transversal do dispositivo.
<i>Az</i> (<i>a_z</i>)	Aceleración na dirección vertical do dispositivo.

A_x , A_y e A_z coincidirán coa dirección do movemento lonxitudinal, lateral e vertical do vehículo se a calibración fíxose segundo a figura 3.

O proceso de emparellamento baseado en tempo dos ficheiros “Acc” e “Pos” móstrase na figura 4.

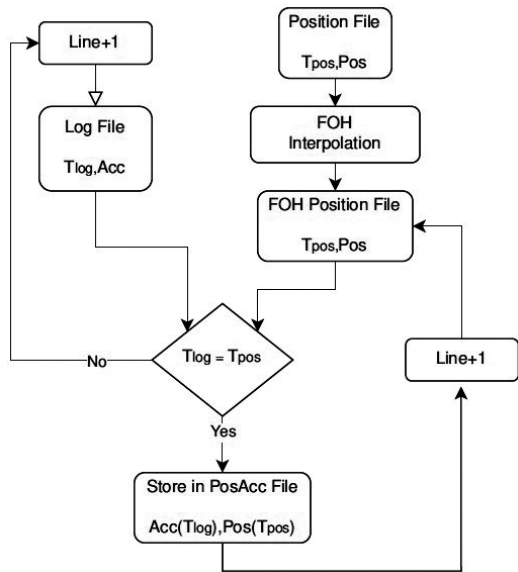


Figura 4. Diagrama de unión Posición-Aceleración.

4 Resultados

En base ao prototipado creouse a aplicación UGW compilada para sistemas Android. Como OBU utilizouse un Xiaomi M2101K9G con Android 13. Esta OBU utiliza unha IMU Osmium MIMU22BT e un receptor GNSS Qualcomm MPSS.HI.4.3.c2-00105.3 integrado no procesador SoC.

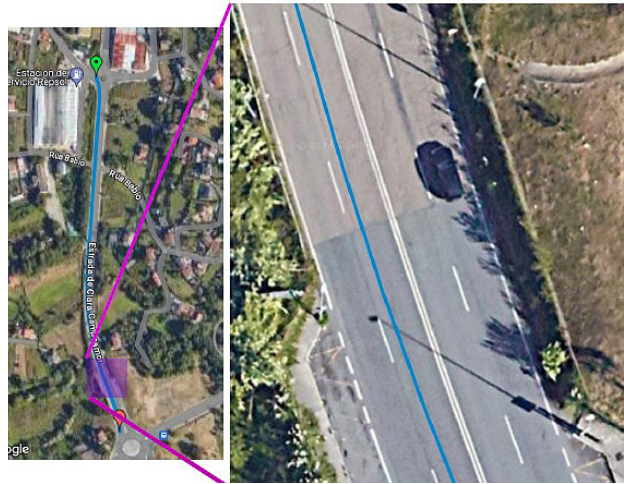


Figura 5. Tramo de estrada de probas.

Para coñecer a viabilidade da proposta seleccionouse un tramo de estrada que incluíse un cambio de rasante e algunha fochanca. Desesta forma poderíase comprobar se o prototipo desenvolvido detectaría diferenzas na medida da R_v entre ambos os rasantes e se detectaría algunha fochanca. O tramo seleccionado pode verse na figura 5, onde tamén se mostra un detalle da zona do cambio de rasante.

A figura 6 mostra o resultado da medida de a_z en dúas probas en diferentes días sobre o mesmo trazado. Dáse a particularidade de que o tramo de estrada dispón de dous carrís por sentido, e de que as probas se realizaron no mesmo sentido pero en carrís diferentes.

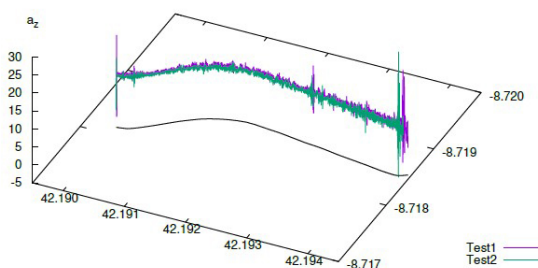


Figura 6. Medida de la aceleración vertical en el tramo estudiado.

Os resultados mostran unha similitude entre ambas as probas en dous aspectos:

- unha menor variación (rugosidade) de a_z no tramo con rasante mais liso (cara a latitudes de 42.190 graos) e unha maior variación de a_z no tramo con rasante en peor estado (en latitudes de 42.194 graos).
- detección dun pico de a_z nas coordenadas (-8.7187, 42.1928) onde tras unha inspección visual atopábase unha fenda provocada pola instalación dunha tapa de sumidoiro (figura 7).



Figura 7. Fenda detectada e provocada por una tapa de sumidoiro.

5 Conclusións e liñas futuras

Este artigo presenta unha proba de concepto para a medición automática do estado dos firmes das estradas utilizando tecnoloxías de sensorización incluídas en dispositivos móbiles. O obxectivo é o de dispoñer de ferramentas e criterios para o uso deste tipo de medidas de forma xeneralizada aproveitando dispositivos *smartphone*. Preséntase unha implementación en catro etapas: i) identificación das variables para medir, ii) adaptación das técnicas de medición de rugosidade en superficies á medición automática de rugosidades en estradas, iii) implementación do sistema OBU e iv) transmisión e procesado dos datos no C-ITS.

As liñas futuras abarcan múltiples aspectos, desde unha ampliación dos dispositivos de sensorización, particularmente o espectro sonoro, ata a implementación de técnicas de IA para xeración de graos de perigo de condución ou accidentes. Outra liña futura apunta á implementación dun filtro de Kalman que unifique as medidas de aceleración do IMU coas deducidas da variación temporal na posición e velocidade do vehículo baseadas nos datos de posición muestreados da sensórica GNSS.

6 Agradecementos

Este traballo foi realizado co soporte do proxecto INOU2024 (Integración de tecnoloxías de posicionamento vehicular con sensorización do entorno), e por as axudas da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (Portuguese Foundation for Science and Technology) dentro do proxecto UIDB/05064/2020 (VALORIZA – Research Centre for Endogenous Resource Valorization).

7 Referencias

- [1] Deputación de Ourense, 2017. Eiel xeoportal. URL: <https://eiel.depourense.es/>.
- [2] Almazán, J., Bergasa, L. M., Yebes, J. J., Barea, R., Arroyo, R., June 2013. Full auto-calibration of a smartphone on board a vehicle using imu and gps embedded sensors. In: 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). pp. 1374–1380. DOI: 10.1109/IVS.2013.6629658.
- [3] El-Wakeel, A. S., Li, J., Noureldin, A., Hassanein, H. S., Zorba, N., Dec 2018. Towards a practical crowdsensing system for road surface conditions monitoring. IEEE Internet of Things Journal 5 (6), 4672–4685. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2807408.
- [4] Zhao, E., Walker, P. D., Ong, A., Al-Widyan, F., 2021. Measuring road conditions with an imu and gps monitoring system. In: Oberst, S., Halkon, B., Ji, J., Brown, T. (Eds.), Vibration Engineering for a Sustainable Future. Springer International Publishing, Cham, pp. 95–101.
- [5] Yu, Q., Fang, Y., Wix, R., 2022. Pavement roughness index estimation and anomaly detection using smartphones. Automation in Construction 141, 104409. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522002825>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104409>.
- [6] Barbieri, D. M., Lou, B., 2024. Instrumentation and testing for road condition monitoring – a state-of-the-art review. NDT and E International 146, 103161. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963869524001269> . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2024.103161>.

- [7] Sayers, M., Gillespie, T., Paterson, W., 1986. Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. No. v. 23-46 in Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank. URL: <https://books.google.es/books?id=-MkIAQAAMAAJ>.
- [8] Nelson, L. S., 1988. Control charts: rational subgroups and effective applications. *Journal of Quality Technology* 20 (1), 73–75.
- [9] Wheeler, D. J., 1995. Advanced topics in statistical process control. Vol. 470. SPC press Knoxville, TN.
- [10] Vieira, E., Almeida, J., Ferreira, J., Dias, T., Vieira Silva, A., Moura, L., 2023. A roadside and cloud-based vehicular communications framework for the provision of c-its services. *Information* 14 (3). URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/3/153>. DOI: 10.3390/info14030153.
- [11] Jiménez, A. R., Seco, F., Torres-Sospedra, J., 2019. Tools for smartphone multi-sensor data registration and gt mapping for positioning applications. In: 2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). pp. 1–8. DOI: 10.1109/IPIN.2019.8911784.

VIGOUR: vixilancia de plantas invasoras na Galicia ourensá

F. Veiga-López,² L. Carrera Otero,¹ G. Fontenla Carrera² e G. Guada¹

*¹Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo,
campus de Ourense, Universidade de Vigo.*

*²Aerolab, Instituto de Física e Ciencias Aeroespaciais,
campus de Ourense, Universidade de Vigo*

fernando.veiga@uvigo.gal , lcarrera@uvigo.gal , gabriel.fontenla@uvigo.gal , guillermo.guada@uvigo.gal

O estudo céntrase na expansión da planta invasora acacia no concello de Ourense, facendo especial énfase no desenvolvemento dun modelo predictivo para estimar a súa superficie. Para isto, utilízanse datos aerobiolóxicos (1994-2023) e series históricas de imaxes aéreas, co fin de comprender os factores que explican a variación anual na superficie ocupada pola acacia.

O modelo predictivo da superficie da acacia, desenvolvido no marco do proxecto VIGOUR, destaca pola súa alta precisión na estimación da superficie desta planta a partir de datos de pole recollidos ao longo do tempo, cun erro de superficie estimado nos anos de validación (2020 e 2024) do 3,4 % e do 0,23 %, respectivamente. Utilizáronse datos de pole correspondentes ao período 1994-2024, o que permitiu identificar un aumento significativo da presenza da acacia desde 2003 (261,3 ha) ata 2017 (365,4 ha) e representar un incremento do 39,6 %. Este crecemento tamén se reflicte nos niveis de pole, que se multiplicaron por 4,8. A partir de 2017, observouse unha estabilización e mesmo unha lixeira redución da superficie ata a actualidade (338,7 ha). Entre 2007 e 2010, a construción de novas infraestruturas, como a autovía A-6 e a estrada OU-510, favoreceu o establecemento de novas masas da acacia, o que provocou un incremento considerable da súa superficie.

Este modelo foi combinado con outras series históricas, como os datos de incendios forestais, para analizar as posibles causas da expansión. Os incendios forestais explican unha parte significativa da variación na superficie da acacia, cunha relación directa coa redución da carga polínica no período de floración seguinte. A alta incidencia de incendios na rexión tamén contribúe á súa expansión, dado que a acacia ten unha capacidade de rebrote máis rápida en comparación co piñeiro, a especie arbórea máis común na zona de estudo. A investigación amosa que os incendios nas zonas arboradas van incrementando a superficie ocupada da acacia.

Palabras clave: aerobioloxía, imaxes aéreas, incendio forestal e xestión de árbores invasoras

1 Introducción

A introdución de especies vexetais non nativas pode causar diversos efectos nos ecosistemas existentes. De feito, aínda que algunhas especies non afectan negativamente á dinámica natural do ecosistema, outras poden facelo, especialmente se se propagan de forma incontrolada ou rápida máis aló do seu lugar de introdución orixinal [1]. Ademais, tamén poden darse impactos socioeconómicos e perdas de biodiversidade causados pola introdución de especies non nativas.

En xeral, os espazos non alterados non adoitan presentar plantas exóticas invasoras [2]. Polo tanto, pódese deducir que as especies invasoras aproveitan as perturbacións ambientais para colonizar novos hábitats [3]. Este é o caso de *Acacia dealbata* Link, introducida en Europa arredor de 1824 como especie ornamental. A *A. dealbata* naturalizouse amplamente no suroeste de Europa, particularmente en áreas de agricultura intensiva. Ademais, úsase en moitas rexións temperadas do mundo con fins ornamentais, e actualmente é a especie de acacia ornamental máis popular en Europa. Tamén se cultiva para a extracción de goma arábica, colorantes e aceites esenciais. En España, cultívase especialmente en xardíns e, en menor medida, úsase para estabilizar pendentes en infraestruturas de transporte (ferrocarrís, estradas etc.) [4]. Esta especie representa unha ameaza significativa para a flora autóctona e causa preocupación ambiental no noroeste da península ibérica e, especialmente, en Portugal e no noroeste de España (Galicia). En Francia e Italia, predomina na costa mediterránea. En Galicia, a *A. dealbata* invadiu e colonizou extensamente rexións de baixa e media altitude, ata aproximadamente 600 metros, e converteuse nun elemento distintivo da paisaxe da

rexión. Tamén se atopa naturalizada noutras rexións da península ibérica, en áreas orientais ou incluso nas zonas occidentais das illas Canarias [4].

O lume favorece a xerminación das sementes de *A. dealbata* [5]. Tamén se sabe que, tras un incendio, esta especie experimenta un crecemento inicial moi rápido, o que lle outorga unha gran competitividade nos bosques húmidos autóctonos [6]. No sur de Europa, e especialmente en España e Portugal, a acacia ocupa rexións húmidas e temperadas que sufriron incendios forestais continuos nos últimos anos [7]. Por este motivo, a *A. dealbata* está a expandirse rapidamente e está a converterse nun problema grave nestas rexións. No noroeste da península ibérica, esta especie reproducése con facilidade en gabias sometidas a cortes constantes ou despois de obras ou rozas, así como en ladeiras sometidas a incendios forestais recorrentes. Por todo isto, pódese concluír que os incendios forestais desempeñan un papel importante na expansión das especies pirófitas, permitindo que a *A. dealbata* colonice novas áreas e aumente a súa densidade en zonas onde compite con especies autóctonas que non se benefician dos incendios.

A pesar do forte impacto de *A. dealbata* en moitas áreas do noroeste da península ibérica, aínda existe unha carencia de información científica completa sobre o seu estado en España. Esta falta de documentación científica sobre os mecanismos e procesos asociados á súa expansión contrasta coa crecente preocupación expresada por sectores ambientais, científicos e administrativos respecto á súa crecente presenza en moitas rexións.

Os rexistros de pole obtidos mediante metodoloxías aerobiolóxicas constitúen unha ferramenta valiosa para estimar a distribución das plantas. A pesar de que a *A. dealbata* se caracteriza por unha estratexia reprodutiva entomófila, os seus grans de pole poden detectarse nos rexistros aerobiolóxicos, aínda que en menores proporcións. A variación da carga de pole entre anos e as súas tendencias nas últimas décadas poden indicar a presenza desta especie invasora.

Este estudo ten como obxectivo avaliar se as fluctuacións na concentración de pole no aire poden servir como un indicador da superficie ocupada pola planta invasora *A. dealbata*. Para alcanzar este obxectivo, formuláronse tres propósitos principais: (i) analizar a relación entre as variables climáticas e a presenza de pole de acacia no aire, (ii) cartografiar as poboacións de *Acacia dealbata* empregando software de información xeográfica (QGIS) e (iii) validar a relación entre as concentracións de pole no aire e a superficie ocupada pola acacia, co propósito final de empregar a concentración de pole como un indicador da súa expansión.

2 Materiais e métodos

2.1 Área de estudo e datos meteorolóxicos

O estudo realizouse en Ourense ($42^{\circ} 20' \text{N}$; $7^{\circ} 52' \text{W}$), no noroeste de España (figura 1). En canto á súa vexetación natural potencial, esta área funciona como zona de transición entre os bosques eurosiberianos e mediterráneos, con especies de árbore como *Quercus robur* L., *Quercus ilex* L., *Quercus suber* L., e variedades caducifolias como *Quercus pyrenaica* Willd [8]. A cuberta vexetal consiste nun mosaico de pequenos cultivos agrícolas, principalmente viñedos, e plantacións forestais dominadas por especies de crecemento rápido como *Pinus pinaster* Ait. e *Eucalyptus globulus* Labill. Situada a unha altitude de 139 metros sobre o nivel do mar, Ourense presenta un clima caracterizado por claras características mediterráneas. Este clima está marcado por temperaturas cálidas, baixos niveis de humidade e unha temperatura media anual ao redor de $14,9^{\circ}\text{C}$ e cunha precipitación total anual de 811 mm. Os datos meteorolóxicos foron obtidos do servizo de meteoroloxía Meteogalicia (<http://www.meteogalicia.gal>).

As superficies invadidas pola acacia foron obtidas a partir da dixitalización de imaxes aéreas de todo o municipio de Ourense (figura 1, dereita). A comparación cos datos de pole aéreo foi feita directamente, xa que se realizou utilizando a única estación aerobiolóxica da zona, que analiza a cantidade de pole nos arredores. Ademais, a localización desta estación ten unha liña de visión directa cunha zona forestal, o que permite unha mellor correlación entre os resultados da cantidade de pole no aire e a evolución da área de distribución da acacia.

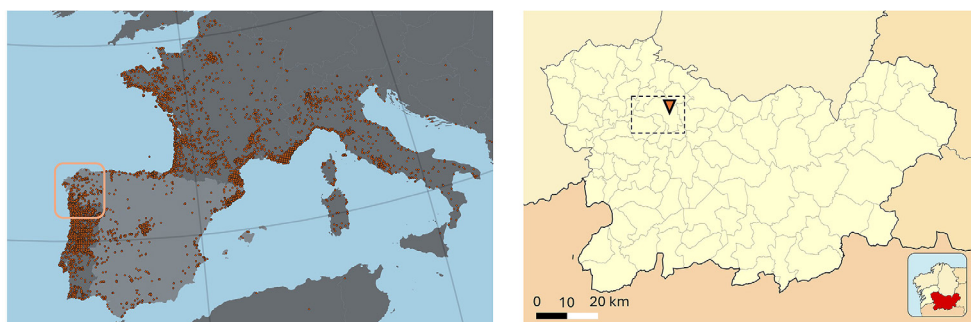


Figura 1. Distribución de *Acacia dealbata* Link en Europa (esquerda). Área de estudo, no noroeste da península ibérica, no municipio de Ourense, Ourense, Galicia, España (dereita)

2.2 Monitorización de pole e datos meteorolóxicos

O estudo do pole da acacia no aire realizouse entre 1994 e 2024 na cidade de Ourense. Para a toma de mostras de pole, utilizouse un captador volumétrico de impacto por succión, tipo Hirst, modelo Lanzoni VPPS 2000. O colector estaba situado no tellado do edificio da Facultade de Ciencias da Universidade de Vigo (42°20'41.6"N e 7°51'19.7"E). Para establecer as concentracións de pole, examináronse catro transectos lonxitudinais en cada lámina baixo microscopia óptica a 400x de magnificación, aplicándose un factor de corrección do microscopio despois (Galán *et al.*, 2007). Os resultados expresáronse como pole total ou pole/m³, referidos aos valores medios diarios [9]. Para calcular o período polínico principal (PPP) para cada ano, utilizouse o método loxístico descrito por Ribeiro, Cunha [10]. Tamén se calcularon variables relacionadas coas datas da PPP, tales como a data de inicio (st.jd), data de finalización (en.jd), día de pico (pk.jd), duración da estación polínica (ln.ps), prepico (ln.prpk) e pospico (ln.pspk). Ademais, tamén se calcularon os seguintes índices relacionados co pole: o valor do pico (pk.val), que se refire ao valor máximo absoluto de pole, a suma de pole no período polínico principal, que é a suma das concentracións diarias de pole ao longo da PPP (sm.ps) ou do prepico (sum.prpk) e do pospico (sm.pspk).

2.3 Datos de imaxes aéreas

Para analizar o crecemento das superficies invadidas pola acacia no municipio de Ourense utilizáronse as imaxes aéreas dispoñibles. Especificamente, os anos 2003, 2007, 2009, 2011, 2014 e 2017. Ademais, os anos 2020 e 2024 tamén foron medidos para verificar o rendemento do modelo obtido, é dicir, usáronse como control para a capacidade do pole para predicir a área da superficie medida máis recentemente.

A cartografía inicial de *A. dealbata* realizouse en 2003. Como as imaxes aéreas do Plan nacional de ortofotografía aérea (PNOA) non estaban dispoñibles para ese ano, utilizáronse imaxes do sistema de información xeográfica de parcelas agrícolas (SIXPAC). Para os anos posteriores, empregáronse imaxes do PNOA (dende 2007 en diante). A calidade das imaxes SIXPAC e PNOA foi homoxeneizada utilizando unha resolución de 1 m/px, suficiente para a correcta identificación da acacia. É importante destacar que as imaxes do PNOA de 2009 ofrecían unha escala de verde máis precisa, o que axudou na identificación das áreas de *A. dealbata*. Pola contra, as fotografías aéreas de 2017 presentaron unha escala de verde uniforme que fixo que a diferenciación fose máis

complicada. Para 2024, seleccionouse unha imaxe do satélite *Sentinel* cunha resolución de 10 m/px –a mellor dispoñible no estado actual da tecnoloxía– debido a que non hai imaxes PNOA dispoñibles para ese ano do Concello de Ourense.

Para xerar novas capas poligonais en formato *shapefile* a partir das fotografías aéreas, levouse a cabo un meticuloso proceso de observación visual utilizando o software libre QGIS. O obxectivo foi reproducir de maneira fiel o que se reflectía nas ortofotos dentro destas novas capas. Desta maneira, creáronse oito capas poligonais, unha para cada ano de estudo, cubrindo unha ampla gama de áreas de tamaño variable.

2.4 Análise de datos

Os datos de pole foron analizados utilizando o paquete *AeRobiology* desenvolvido para o software R, que utiliza o método loxístico para definir os períodos polínicos principais [10, 11]. A continuación, realizouse unha análise de correlación de Spearman para avaliar as relacións entre os parámetros aerobiolóxicos e meteorolóxicos durante a PPP. Finalmente, para predicir a evolución da superficie de *A. dealbata*, realizáronse análises de regresión lineal entre as variables de pole, clima e os datos de superficie. Para isto, utilizáronse os datos de seis dos oito anos dispoñibles (80 %), deixando dous (20 %) para a validación das predicións. Todos os cálculos estatísticos realizáronse utilizando a versión 4.3.2 do software R.

3 Resultados

3.1 Características aerobiolóxicas e correlación co clima

Utilizando o método loxístico para calcular as datas críticas desenvolveuse un calendario polínico para o noroeste da península ibérica de *A. dealbata* (figura 2). O PPP da acacia durou de media, dende comezos de febreiro (DOY 32) ata finais de marzo (DOY 84), que foi o pico de pole diario máis alto rexistrado na segunda metade de febreiro (DOY 55) (figura 2a e c).

A suma de pole no período polínico principal da acacia revelou unha concentración media baixa (47 ± 18 grans de pole) (figura 2b). Houbo grandes variacións entre anos, variando dende o valor máximo (132 grans de pole/m³ en 2015) ata o valor mínimo (3 grans de pole/m³ en 2005). En canto ás contas diarias máis altas, a concentración media diaria máxima (valor máximo) foi rexistrada o 27 de febreiro de 2011, con 27 grans de pole/m³ e un valor medio durante o período estudado de 9 ± 7 grans de pole/m³,

mentres que o valor máis baixo foi de 1 ± 7 grans de pole/m³. O número total de grans de pole recollidos anualmente na PPP distribúese de maneira equitativa entre a estación prepico e pospico.

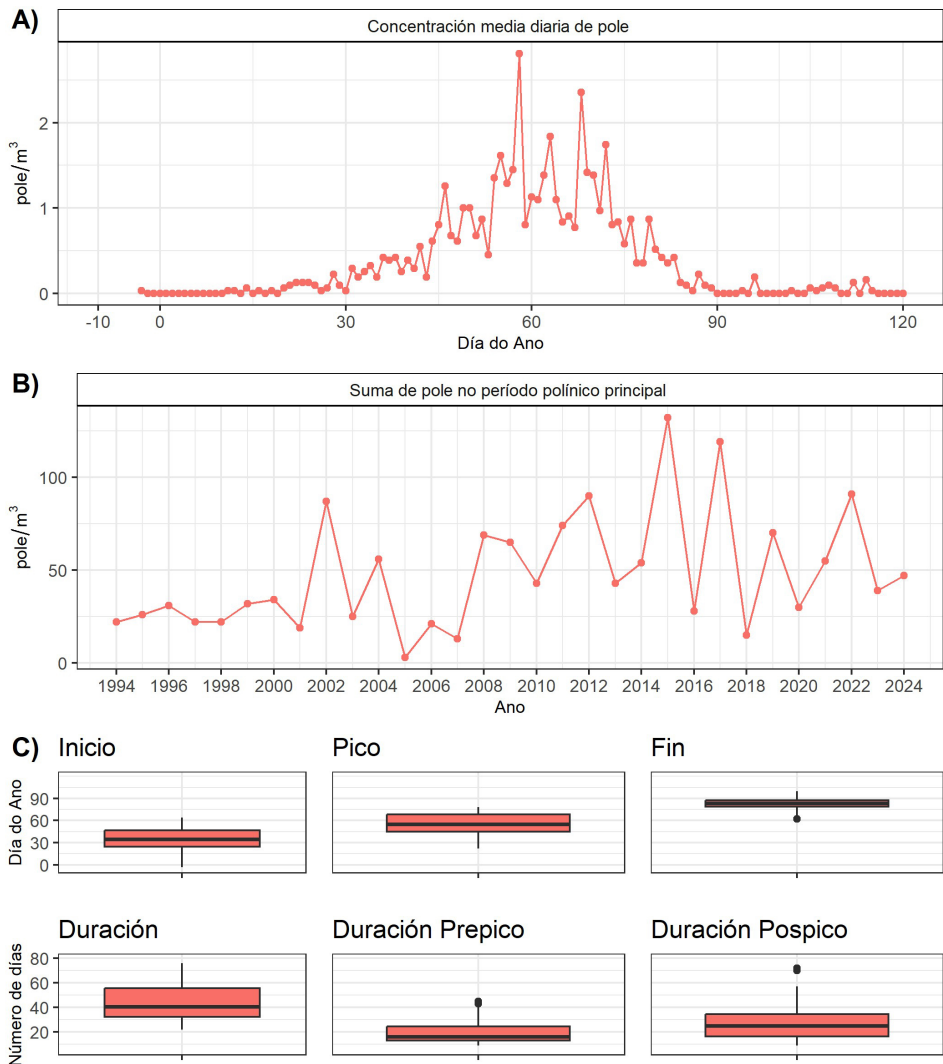


Figura 2. Características aerobiolóxicas de *Acacia dealbata* en Ourense de 1994 a 2024. a) Contaxe media diaria de grans de pole no período polínico principal. b) Suma de pole no período polínico principal. c) Diagrama de caixas coas datas críticas no período polínico principal (inicio, pico, fin, duración, duración prepico e pospico)

Entre todas as características aerobiolóxicas analizadas (figura 3a), as variables de suma de período polínico (sm.ps), valor máximo (pk.val) e suma prepico (sm.prpk) amosaron tendencias positivas significativas ($p < 0,05$).

Para estudar o efecto do clima durante o período polínico principal, realizáronse correlacións de Spearman entre os parámetros climáticos (temperatura e precipitación durante o PPP e os períodos pre e pospico) e as variables aerobiolóxicas (valor máximo e suma de pole durante o PPP e os períodos pre e pospico) (fig. 3b). En canto ás variables de pole durante o PPP, a temperatura máxima e mínima mostraron respostas diferentes. Atopáronse relacións positivas significativas ($p < 0,05$) entre a temperatura máxima e as contaxes de pole no prepico, pico e estación principal de polinización, pero non no pospico. En canto á temperatura mínima, esta presentou unha correlación negativa co valor do pospico ($p < 0,05$). Entre as restantes variables, só a humidade amosou unha relación significativa durante o período pospico (figura 3b).

Para probar a estabilidade da correlación entre a suma de pole no período polínico principal e a temperatura máxima, realizáronse correlacións de Spearman. Estas correlacións fixéronse usando períodos variables, dende os 5 anos ata os 31 anos do estudo, engadindo un ano á vez e observando a estabilidade da correlación ao longo do tempo (figura 3c). Esta correlación mantívose non significativa ata que a serie temporal acadou os 23 anos, indicando que se necesitan 23 anos para que os valores sexan significativos ao analizar o efecto da dinámica atmosférica sobre o pole de *A. dealbata*.

A) Tendencias

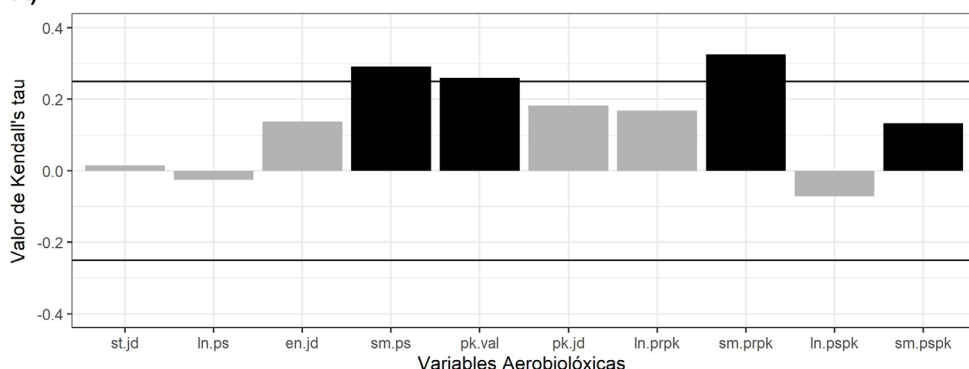


Figura 3a. Correlación climática coas características aerobiolóxicas: a) Tendencias de Mann-Kendall derivadas dos datos anuais en Ourense. As variables en negro representan as contaxes de pole, mentres que as de cor gris están relacionadas coas datas.

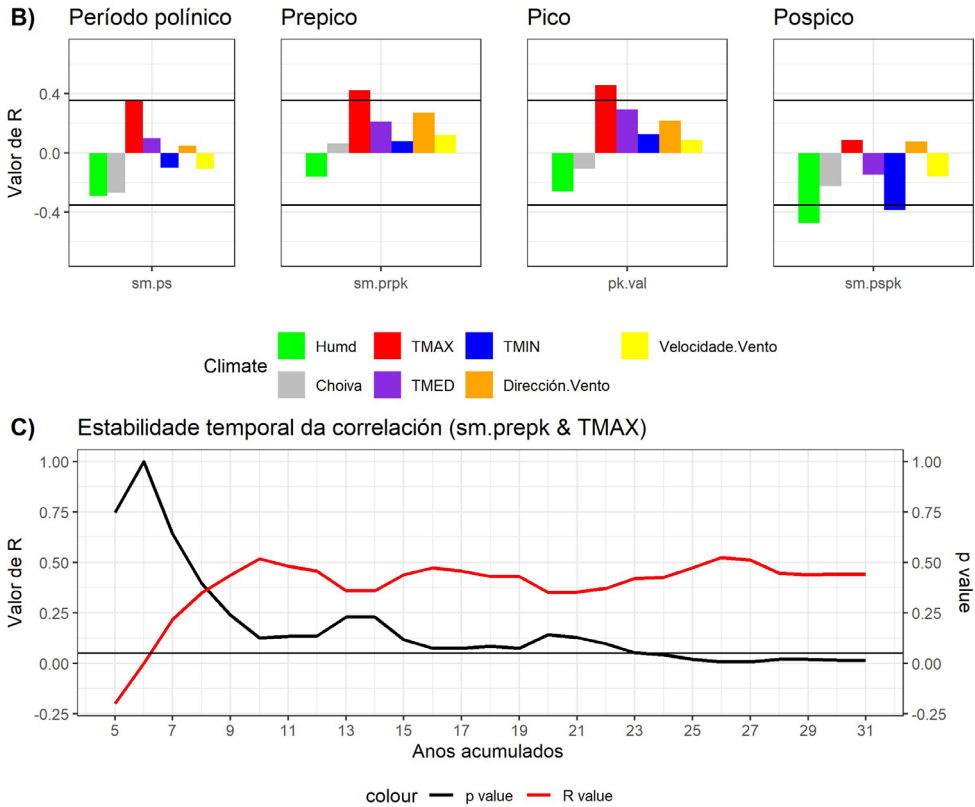


Figura 3b y 3c. Correlación climática coas características aerobiolóxicas: b) Correlación climática das variables de contaxe durante os períodos pre e pospico. c) Estabilidade da correlación ao longo dos anos entre a suma prepico e a temperatura máxima media do período prepico. A serie temporal abrangue 31 anos, cun código de variables que inclúe o valor máximo (pk.val), a suma de pole (sm.ps), prepico (sm.prpk), pospico (sm.pspk), as datas de inicio (st.jd) e fin (en.jd). Ademais, inclúense as duracións dos períodos prepico (ln.prpk) e pospico (ln.pspk) do período polínico principal. Nas tres figuras, a barra horizontal negra indica o nivel de significación.

3.2 Imaxes aéreas e datos aerobiolóxicos

A distribución xeográfica da acacia no municipio de Ourense (figura 4) foi avaliada mediante fotogrametría para os anos 2003, 2007, 2009, 2011, 2014 e 2017. Ademais, tamén se mediron os anos 2020 e 2024 para validar o modelo obtido. A superficie total do municipio é de 8520 ha. Para considerar a superficie poboada pola acacia, descontáronse as zonas urbanas e industriais (586,8 ha), estradas e ferrocarrís (397,4 ha) e o río máis importante (Miño, 186,8 ha), co que se obtivo unha superficie natural total

de 7349 ha. Dentro deste espazo natural, as poboacións da acacia foron identificadas nas fotografías (figura 4) e a súa área foi calculada integrando a superficie segmentada manualmente. A poboación da acacia atópase principalmente preto das zonas urbanas, ferrocarrís e principais estradas do municipio. Os resultados mostraron un aumento de ata o 40 % da área da acacia entre 2003 e 2017 (táboa 1, detalle da figura 4), mentres que a área diminúe un 7,5 % entre 2017 e 2024.

Táboa 1. Evolución da superficie da acacia medida a partir das imaxes aéreas

Ano	2003	2007	2009	2011	2014	2017	2020	2024
Superficie de acacia (ha)	261,3	276,3	309,0	343,0	327,8	365,4	336,9	338,7
Porcentaxe con respecto a área total natural (%)	3,7	3,8	4,2	4,7	4,5	5,0	4,6	4,6

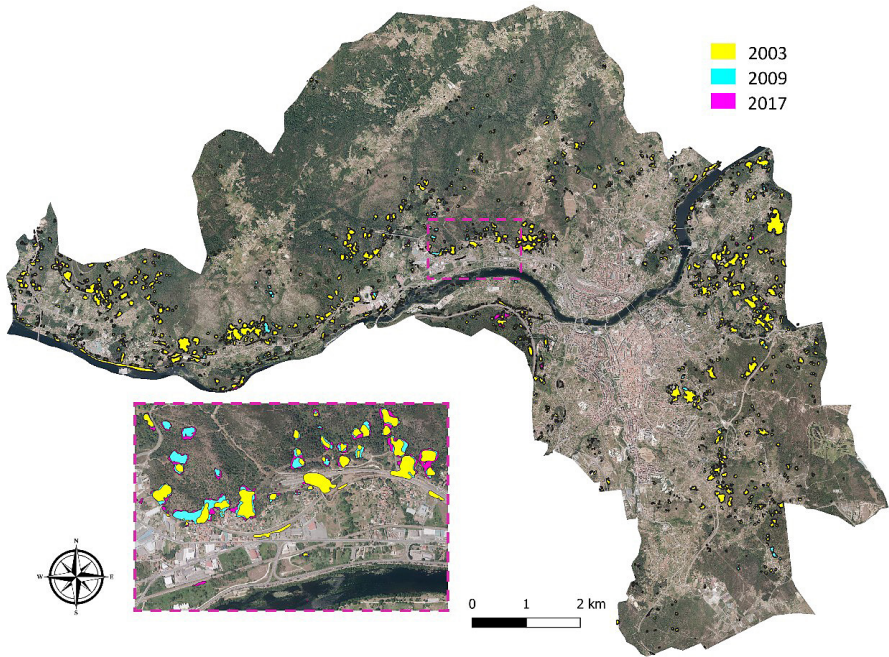


Figura 4. Evolución da distribución xeográfica das masas de acacia no municipio de Ourense (límites xeográficos: X: [582069, 598403] m; Y: [4689264, 4690677] m - WGS 84 / UTM zona 29N) medida nos anos 2003, 2009 e 2017. Zoom dunha área característica de crecemento de acacia durante os anos seleccionados

Para avaliar a relación entre a superficie e as concentracións de pole de acacia, realizouse unha análise de regresión lineal. A superficie medida manualmente nos anos 2020 e 2024 foi utilizada para verificar se o valor estimado polo modelo de regresión representa de forma precisa a superficie real para eses anos. A pesar do número limitado de observacións, a análise produciu un resultado significativo ($p < 0,05$), tanto para o período polínico principal coma para a suma de pole prepico (táboa 2).

Táboa 2. Valores estatísticos de seis regresións lineais para predicir a superficie de acacia. As variables de pole no aire (sm.ps, sm.prpk) foron consideradas como variables independentes no modelo e a superficie como variable dependente. Os valores mostrados son intercepto (a); pendente (b); erro estándar residual da regresión (RSE); e R^2 axustado do modelo

	Modelo	df	a	b	RSE	p	Adj. R^2
Modelo 1	sm.ps	4	257,14	0,97	17	0,008	0,8172
Modelo 2	sm.ps + TMAX_MPS	3	293,58	1,01 -2,18	18,67	0,048	0,7795
Modelo 3	sm.ps : TMAX_MPS	4	261,39	0,04	21,29	0,021	0,7133
Modelo 4	sm.prpk	4	267,89	2,13	18,58	0,012	0,7817
Modelo 5	sm.prpk + TMAX_prpk	3	248,65	1,97 1,45	20,88	0,067	0,7243
Modelo 6	sm.prpk : TMAX_prpk	4	265,61	0,13	16,46	0,007	0,8286

Probáronse seis modelos diferentes para predicir a superficie de acacia a partir do pole aéreo (sm.ps, sm.prpk), considerando o pole como variable independente e a superficie como variable dependente. Tamén se tiveron en conta as temperaturas máximas, que resultaron significativas na análise climática previa. Todas as estatísticas foron significativas ($p < 0,05$), agás o modelo aditivo de sm.prpk e Tmax (modelo 5). O resto dos modelos explicaron entre o 71 % e o 82 % da variación da superficie de acacia en relación cos valores de pole. Os modelos mellor axustados foron os que utilizaban o sumatorio prepico e a temperatura máxima conxuntamente (modelo 6) e o modelo de sumatorio do pole do período polínico principal (modelo 1). As discrepancias máis notables entre todos os modelos son as diferenzas no erro estándar residual, que amosan unha variación de 16,46 a 21,49 hectáreas.

O modelo que mostrou mellores resultados (modelo 6) foi probado sobre a serie temporal completa (1994-2024) de pole, para poder validar as predicións dos anos

2020 e 2024 (figura 5). O modelo 6 (sm.prpk : Tmax) predixo $325,2 \pm 20$ e $339,5 \pm 23$ ha para os dous anos de validación, sendo os valores das medicións manuais de 336,9 e 338,7 ha. As diferenzas entre os valores medidos e os preditos foron do 3,4 % e do 0,23 % para o modelo 6 nos anos 2020 e 2024, respectivamente. Baseándose neste modelo, obsérvase unha tendencia de aumento na superficie de acacia. Esta tendencia obsérvase desde o inicio ata 2015, que pasa de $289,2 \pm 23$ a $487,4 \pm 95$ ha, o que representa un aumento do 50 % no municipio de Ourense. A partir de 2015, esta tendencia estabilízase e incluso se reduce a superficie, que chega en 2024 a ser de $339,5 \pm 23$ ha (un 36 % menos ca en 2015).

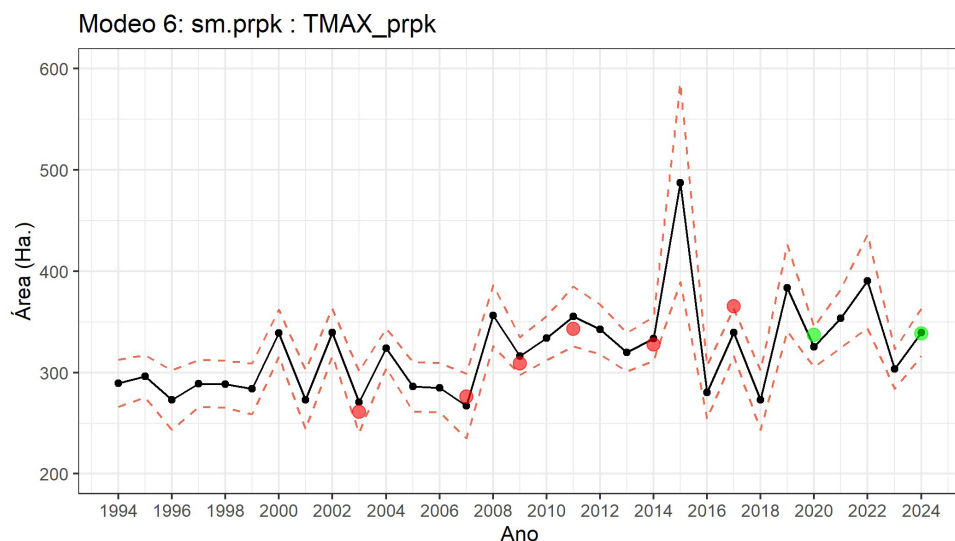


Figura 5. Predición da superficie de acacia a partir do conxunto de datos de pole (1994-2024) do modelo 6 (sm.prpk : Tmax). A liña sólida negra representa a área predita, as liñas descontinuas laranxas indican o intervalo de confianza, os puntos vermellos corresponden ás medicións reais utilizadas para crear o modelo e os puntos verdes representan as medicións utilizadas para a validación do modelo

3.3 Variables explicativas da variación da acacia nos trinta últimos anos

O proxecto VIGOUR desenvolveu un modelo de estimación altamente preciso da superficie de acacia a partir de datos aerobiolóxicos. Os resultados evidencian un aumento significativo da presenza desta especie entre 2007 e 2017, seguido dunha estabilización e incluso dunha lixeira redución a partir dese ano.

A superficie de acacia amosou un incremento notable, especialmente tras a expansión de infraestruturas como liñas eléctricas, estradas, vías férreas e incendios forestais. Realizáronse dous grandes proxectos dentro da área de estudo: a construción da autovía A-6 e da estrada OU-510, entre 2007 e 2010. Estas obras favoreceron o establecemento de novas masas de acacia, o que provocou un aumento significativo da súa superficie ata o período 2015-2017. Non obstante, a vantaxe de contar cunha serie temporal validada de datos de pole reside na posibilidade de que esta poida ser combinada con outras series históricas para identificar as causas da variación na ocupación da acacia.

Neste contexto, recompiláronse datos históricos de incendios forestais (1994-2023) da base de datos nacional de incendios forestais e da Consellería do Medio Rural, incluída a información sobre o número de incendios e as superficies queimadas (arborada, non arborada e total) na provincia de Ourense. Realizáronse correlacións de Spearman entre os valores de pole e os datos de incendios (táboa 3). Ademais, avaliouuse o efecto dos incendios do verán anterior sobre a carga polínica do período de floración seguinte (febreiro) mediante o uso de valores atrasados un ano (táboa 3, figura 6). As relacións significativas foron co ano anterior, e a variación da área queimada entre anos explicou ata un 47 % da variación histórica, cun valor de R de 0,69.

Táboa 3. Correlacións significativas ($p < 0,05$) de Spearman entre os datos de contaxe de pole e a serie temporal de incendios, considerando tanto o número de incendios coma a superficie arborada e non arborada queimada na provincia de Ourense. Os códigos das variables aerobiolóxicas inclúen o valor do pico (pk.val), suma do período polínico principal (sm.ps), prepico (sm.prpk), pospico (sm.pspk), datas de inicio (st.jd) e fin (en.jd).

	Variables	Número	Arborada	Non arborada	Total
Ano en curso	sm.tt				
	sm.ps				
	pk.val				
	sm.prpk				
	sm.pspk				
Ano anterior	sm.tt	-0,558**	-0,568**	-0,451**	-0,489**
	sm.ps	-0,575**	-0,575**	-0,468**	-0,506**
	pk.val	-0,485**	-0,606**	-0,365*	-0,424**
	sm.prpk	-0,589**	-0,686**	-0,495**	-0,541**
	sm.pspk				

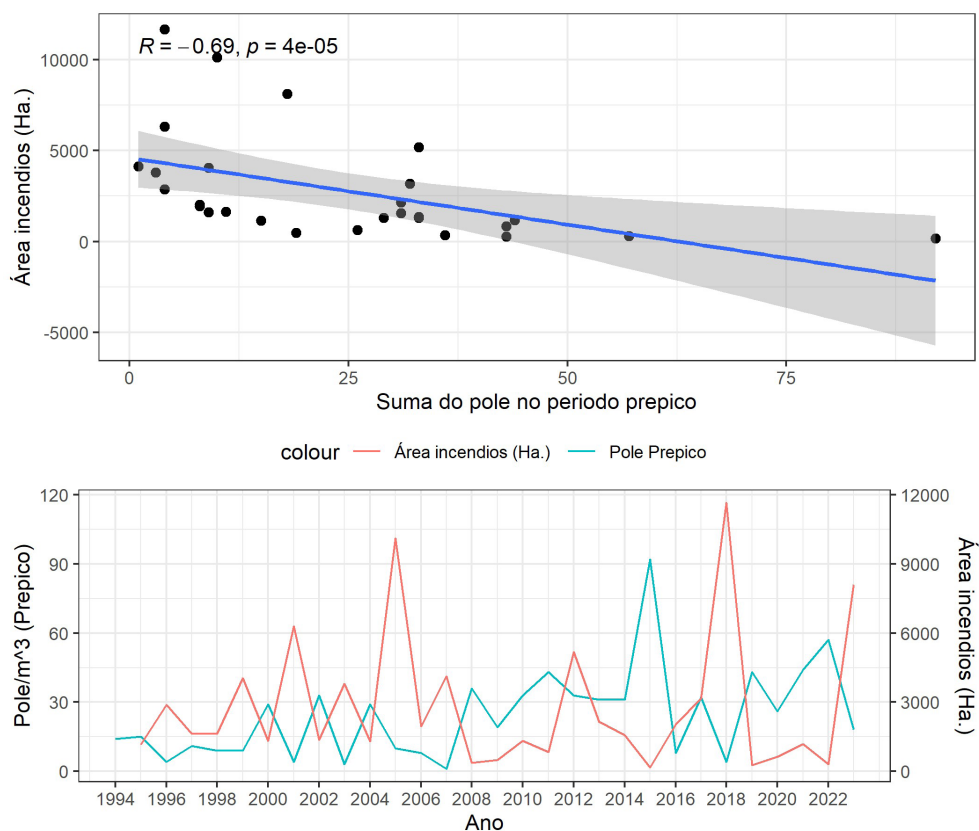


Figura 6. Correlación entre a área de incendios (ha) e a suma de pole no período prepico (sm.prpk)

4 Discusión

A monitorización das plantas exóticas invasoras é esencial para a súa xestión, que proporciona unha ferramenta de toma de decisións para os xestores forestais e facilita a toma de accións preventivas. A alta adaptabilidade aos novos territorios e a rápida reprodución vexetativa da acacia despois de alteracións naturais, como os incendios ou a construción de novas, levaron á substitución da vexetación natural pola acacia [12-14]. Estes resultados xeran unha modificación parcial da composición da paisaxe, ameazando a diversidade local, e afectando á paisaxe natural, aos biomas agroforestais e ribeiráns, así como á seguridade das poboacións próximas. Este estudo explora como as series temporais aerobiolóxicas de longo prazo (pole da acacia aerovagante) poden ser unha ferramenta de seguimento se se relacionan co aumento da superficie rexistrada nas fotografías aéreas históricas.

As características entomófilas de *A. dealbata* (flores con cores brillantes e pole grande e rico en proteínas) son as causantes dos baixos rexistros de pole desta especie. Ademais, a súa floración ten lugar durante o período máis frío do ano, tanto no noroeste de España (febreiro-marzo) coma en Australia (outubro), momento no que hai menos polinizadores dispoñibles. Griffin, Hingston [15] estudaron os vectores potenciais de polinizadores en Tasmania, rexistrando a escasa presenza de insectos e aves durante este período frío. Aínda que os grans de pole de *A. dealbata* son relativamente grandes (variando entre 23 e 64 μm) en comparación cos grans de pole anemófilos (aproximadamente 25 μm), a forma do disco pode ter propiedades aerodinámicas que compensan esta desvantaxe de tamaño [16]. Ademais, na costa de Portugal, concluíron que a polinización pode ser mesturada entre os polinizadores e o vento como vectores principais na súa reprodución sexual [17].

Non temos constancia de referencias bibliográficas sobre o volume de pole aéreo de *A. dealbata* na península ibérica, pero varios autores demostraron a aparición de novos taxons, o que nos permite detectar a introdución e a evolución de novas especies a partir dos rexistros de pole no aire [18]. Un exemplo é o aumento de *Ambrosia* no leste da península ibérica (Catalunya) durante o período de 1983 a 2014 [19]. Outro exemplo é o incremento de pole dende 4 grans (SPI) en 1994 ata 22 grans en 1998 [20]. Estes exemplos mostran o potencial da aerobioloxía como ferramenta de seguimento para a conservación da natureza.

O captador de pole utilizado neste estudo atópase entre 1000 e 10 000 m de distancia das fontes emisoras, e a presenza de pole en Ourense rexístrase na base de datos dende 1994. A capacidade de rexistrar e cuantificar a presenza de pole de *A. dealbata* durante 31 anos permítenos observar a súa evolución ao longo do tempo, tanto para entender a súa tendencia coma para identificar as variables atmosféricas que están involucradas no seu transporte aéreo. Para isto, calculáronse as tendencias temporais das variables aerobiolóxicas e relacionáronse cos factores climáticos (temperatura e precipitación) durante o PPP. A temperatura máxima durante o período prepico (primeira metade de febreiro) parece ser a variable que mellor explica a variación interanual do pole da acacia no aire. As tendencias crecentes en todas as variables de contaxe de pole da acacia na atmosfera nas últimas dúas décadas son consistentes cos aumentos observados noutras especies de inverno, como o *Alnus* na mesma área de estudo [21]. Isto pode ser debido tanto ao aumento das temperaturas durante o período de polinización coma ao aumento da superficie ocupada pola acacia. En canto á tendencia da temperatura

máxima durante o período polínico principal (febreiro), un estudo na mesma área non atopou resultados significativos ($p < 0,05$) nin para a temperatura nin para os valores de precipitación [22]. Con todo, a temperatura máxima é a variable que mellor explicaría a suspensión do pole da acacia na atmosfera. Non obstante, a temperatura máxima non mostrou un aumento significativo nas últimas décadas, non podendo explicar a tendencia ascendente do pole. Pola contra, a hipótese dun aumento na fonte emisora debido á expansión da área invasora na rexión de estudo cobra forza.

A superficie de acacia aumentou de maneira significativa, especialmente despois da expansión de infraestruturas como liñas eléctricas, estradas ou ferrocarrís, e dos incendios. Factores ambientais, tales como as propiedades físico-químicas do solo, favorecen as condicións para o establecemento da acacia, promovendo un crecemento máis rápido e a colonización, en comparación con outros ecosistemas como os arbustos [23]. Ademais, os piñeirais son as plantacións máis comúns na área de estudo, e a alta incidencia de incendios na rexión acelera aínda máis a súa expansión [13, 24]. A superficie de acacia na área de estudo aumentou un 40 % entre os anos 2003 e 2017, mentres que o aumento da concentración de pole en aire é de 4,8 veces no mesmo período, o que suxire unha relación entre ambos os indicadores. Estes aumentos en ambas as variables permitíronnos identificar que os niveis de pole se corresponden coa superficie ocupada pola acacia, e que estes poderían ser usados como indicador da súa expansión. O modelo proposto neste estudo explica o 82 % da variación na superficie de acacia baseada na variación do pole, cun erro estimado na superficie nos anos de validación (2020 e 2024) do 3,4 % e 0,23 %, respectivamente.

A variable de pole máis predictiva é a interacción dos valores de contaxe de pole durante o período prepico e a temperatura máxima, xa que a floración está estreitamente relacionada con esta fase. Ademais, factores climáticos como o vento ou as tormentas turbulentas afectan ás partículas de ata 100 μm [25]. Estes eventos climáticos adoitan ocorrer ao final do período pospico da estación principal de polinización, cando non hai floración, pero o pole está presente. Baseado nesta predición histórica da serie temporal da superficie de acacia, estímase que a área da acacia aumentou un 17,3 % nos últimos 31 anos (1994-2024), con períodos de crecemento máis pronunciados, e alcanzou ata un 50 % en 2015, segundo o modelo 6.

Varios autores demostraron a utilidade do uso da análise de imaxes aéreas para detectar, monitorizar e xestionar especies invasoras. Non obstante, xorden desafíos

cando se utilizan fotografías históricas debido á súa baixa resolución, diferentes escalas de verde entre os anos etc., facendo difícil reconstruír con precisión a evolución destas especies ata o presente, como se observou en América do Sur (Chile) [26]. Estes problemas de resolución poden mitigarse mediante o uso de vehículos aéreos non tripulados (VANT), que proporcionan datos de maior resolución para analizar as áreas de superficie actuais [27, 28]. Para entender a evolución histórica, pódense explorar novos enfoques a través dunha perspectiva multidisciplinaria que incorpore datos aerobiolóxicos. A aerobioloxía, que mide o volume de pole no aire, é particularmente útil porque, para moitas especies, este volume está vinculado á expansión da súa área ocupada. Os datos de pole están sendo cada vez máis utilizados en estudos a gran escala e están sendo probados para avaliar a súa calidade [29]. Domingo, Pérez-Rodríguez [30] estudaron a detección da acacia nunha zona próxima ao sitio do presente estudo, utilizando *Earth Engine* e diferenzas espectrais do pico fenolóxico baseadas en bandas RGB-NIR de *Sentinel-2* para a detección da acacia. Estas técnicas de detección a través de imaxes aéreas permiten cubrir unha área maior. Identificar o momento fenolóxico adecuado para a detección aérea (como pode ser durante o seu período de floración) é esencial, xa que as variacións de cor da planta ao longo do ano poden dar lugar a confusións. Non obstante, esta detección baseada na fenoloxía pode ser un reto porque o ciclo vexetativo da acacia coincide co período do ano no que as nubes e a néboa son máis probables nas rexións do noroeste da península ibérica. Dende unha perspectiva aerobiolóxica, o aumento de pole da acacia pode atrasarse un ano porque as novas poboacións da acacia da reprodución vexetativa florecen un ano despois do crecemento verde inicial. Polo tanto, a detección manual é necesaria para comezar a establecer estas relacións iniciais coa serie temporal de pole e axustar o erro dos detectores automáticos.

Este estudo presenta evidencias de que a temperatura máxima durante o período prepico explica a presenza de pole da acacia nos captadores de pole. Ademais, a concentración de pole en aire é un indicador de alto rendemento da superficie ocupada pola acacia. Polo tanto, o pole da acacia serve como un novo indicador para monitorizar a superficie da acacia e reconstruír a súa cobertura cando as imaxes aéreas non están dispoñibles ou son de baixa resolución. Este enfoque pretende desenvolver ferramentas de seguimento que tamén se poidan utilizar como medidas de control para a xestión forestal das especies invasoras.

As relacións entre as series temporais de pole e incendios resultaron ser significativas para todos os valores de contaxe de pole, agás para a suma pospico. Os resultados suxiren que os incendios dun ano reducen a carga polínica no período de floración seguinte, sendo este efecto máis acusado nos incendios que afectan zonas arboradas en comparación con áreas non arboradas. Na zona de estudo, os piñeirais constitúen o tipo de plantación máis común, xerando condicións favorables para o establecemento da acacia. Isto débese á súa capacidade de rebrote rápido tras incendios, que lle dá vantaxe fronte ao piñeiro, cuxa rexeneración depende da propagación por sementes. Deste xeito, a alta incidencia de incendios na rexión favorece a expansión da acacia, especialmente en ecosistemas de piñeiro, en comparación con matogueiras ou outros hábitats. Esta dinámica de expansión xa foi estudada noutras localidades [13, 24].

Dado que os incendios explican ata un 47 % da variación histórica na expansión da acacia, o seu control desempeña un papel crucial para frear a súa proliferación. No futuro, a prevención e extinción de incendios, combinadas con medidas de xestión sostible, permitirían unha redución progresiva destas masas forestais. Estas accións poderían complementarse co mantemento adecuado preto das infraestruturas e coa transformación de terreos invadidos en campos cultivables ou forestais produtivos.

Para tratar eficazmente a problemática do lume, é necesario deseñar áreas de vixilancia específicas e establecer faixas preventivas estratéxicas que faciliten o acceso rápido e eficiente aos equipos de extinción. Estas intervencións deben priorizar as zonas de acacia próximas a infraestruturas clave, como vivendas, polígonos industriais, estradas e vías de tren, onde o risco de propagación e o impacto potencial son maiores.

5 Conclusións

O período polínico principal de *A. dealbata*, situada no límite norte da súa distribución mediterránea no noroeste da península ibérica, mostrou unha baixa presenza de grans de pole na atmosfera, posto que se trata dunha especie entomófila. A serie temporal de 31 anos mostrou información ambiental, sendo a temperatura a variable que mellor explica a presenza no aire de *A. dealbata*. A temperatura máxima no prepico do período polínico principal (primeira metade de febreiro) explica as variacións interanuais da suma de pole durante todo o período polínico. Entre os anos 1994 e 2024, observouse unha tendencia crecente e positiva na concentración de pole atmosférico, o que pode ser atribuído á expansión das áreas de acacia. A superficie

de acacia na zona de estudo aumentou aproximadamente un 40 % entre 2003 e 2017, mentres que as concentracións de pole no aire aumentaron 4,8 veces durante o mesmo período. Non obstante, nos últimos nove anos (2015-2024), a tendencia parece estabilizarse, cuns niveis de pole inferiores aos rexistrados no período 2003-2017, o que suxire unha estabilización ou incluso unha posible redución da área ocupada pola acacia. Os modelos propostos amosan un aumento do 17,3 % na superficie nos últimos 31 anos (1994-2024), con anos como o 2015, que amosan un incremento de entre un 33 % e un 50 %. Estas variacións de superficie de acacia nos últimos 31 anos explícanse nun 47 % pola proliferación de incendios forestais.

A aerobioloxía, en combinación coa imaxe aérea, pode ser unha ferramenta multidisciplinaria útil para controlar as plantas invasoras en estudos a grande escala. Este estudo destaca que a cantidade de pole aéreo pode explicarse polo aumento na superficie das áreas de acacia. A dispoñibilidade de imaxes de satélite e a detección de especies avanzaron nos últimos anos, polo que é necesario continuar cun estudo máis detallado.

6 Referencias

- [1] Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. 2000;6(2):93-107.
- [2] Lake JC, Leishman MR. Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores. *Biological Conservation*. 2004;117(2):215-26.
- [3] Hierro JL, Maron JL, Callaway RM. A biogeographical approach to plant invasions: the importance of studying exotics in their introduced and native range. 2005;93(1):5-15.
- [4] Elorza MS, Vesperinas ES, Sánchez EDD. Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España. 2014.
- [5] Brown J, Enright NJ, Miller BP. Seed production and germination in two rare and three common co-occurring *Acacia* species from south-east Australia. *Austral Ecology*. 2003;28(3):271-80.
- [6] Hickey JE. A Floristic Comparison of Vascular Species in Tasmanian Oldgrowth Mixed Forest With Regeneration Resulting From Logging and Wildfire. *Aust J Bot*. 1994;42(4):383-404.
- [7] Martínez J, Vega-García C, Chuvieco E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*. 2009;90(2):1241-52.

- [8] Rivas Martínez S, Gandullo JM. Memoria del mapa de series de vegetación de España: 1:400.000: Madrid : ICONA, D.L. 1987; 1987.
- [9] Galán C, Ariatti A, Bonini M, Clot B, Crouzy B, Dahl A, et al. Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*. 2017;33(3):293-5.
- [10] Ribeiro H, Cunha M, Abreu I. Definition of main pollen season using a logistic model. *Ann Agric Environ Med*. 2007;14(2):259-64.
- [11] Rojo J, Picornell A, Oteros J. AeRobiology: The computational tool for biological data in the air. 2019;10(8):1371-6.
- [12] Lorenzo P, González L, Reigosa MJ. The genus *Acacia* as invader: the characteristic case of *Acacia dealbata* Link in Europe. *Ann For Sci*. 2010;67(1):101-.
- [13] Vazquez de la Cueva A. Case studies of the expansion of *Acacia dealbata* in the valley of the river Miño (Galicia, Spain). *For Syst*. 2014;23(1):3-14.
- [14] Lorenzo P, Rodríguez J, González L, Rodríguez-Echeverría S. Changes in microhabitat, but not allelopathy, affect plant establishment after *Acacia dealbata* invasion. *Journal of Plant Ecology*. 2016;10(4):610-7.
- [15] Griffin A, Hingston A, Harwood C, Harbard J, Brown M, Ellingsen K, et al. Potential pollen vectors of the mass flowering tree *Acacia dealbata*, within its natural range in southern Tasmania. *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania*. 2020;154.
- [16] Kenrick J. Review of pollen-pistil interactions and their relevance to the reproductive biology of *Acacia*. *Australian Systematic Botany*. 2003;16(1):119-30.
- [17] Giovanetti M, Ramos M, Máguas C. Why so many flowers? A preliminary assessment of mixed pollination strategy enhancing sexual reproduction of the invasive *Acacia longifolia* in Portugal. *Web Ecol*. 2018;18(1):47-54.
- [18] Velasco-Jiménez MJ, Alcázar P, Valle A, Trigo MM, Minero F, Domínguez-Vilches E, et al. Aerobiological and ecological study of the potentially allergenic ornamental plants in south Spain. *Aerobiologia*. 2014;30(1):91-101.
- [19] Fernández-Llamazares Á, Belmonte J, Boada M, Fraixedas S. Airborne pollen records and their potential applications to the conservation of biodiversity. *Aerobiologia*. 2014;30(2):111-22.
- [20] Belmonte J, Vendrell M, Roure JM, Vidal J, Botey J, Cadahía À. Levels of *Ambrosia* pollen in the atmospheric spectra of Catalan aerobiological stations. *Aerobiologia*. 2000;16(1):93-9.
- [21] Novo-Lourés M, Fernández-González M, Pavón R, Espinosa KCS, Laza R, Guada G, et al. *Alnus* Airborne Pollen Trends during the Last 26 Years for Improving Machine Learning-Based Forecasting Methods. *Forests*. 2023;14(8).

- [22] Guada G, Fernández-González M, Amigo R, Dias-Lorenzo DA, Sánchez Espinosa KC, Rodríguez-Rajo FJ. Precipitation masks the effect of temperature on Birch airborne pollen start, and previous summer temperature affects pollen intensity; A 31-year study at its southwestern distribution boundary. *Agric For Meteorol.* 2024;353:110072.
- [23] Rodríguez J, Lorenzo P, González L. Different growth strategies to invade undisturbed plant communities by *Acacia dealbata* Link. *For Ecol Manage.* 2017;399:47-53.
- [24] Gouws AJ, Shackleton CM. A spatio-temporal, landscape perspective on *Acacia dealbata* invasions and broader land use and cover changes in the northern Eastern Cape, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019;191(2):74.
- [25] Sehmel GA. Particle resuspension: A review. *Environment International.* 1980;4(2):107-27.
- [26] Visser V, Langdon B, Pauchard A, Richardson DM. Unlocking the potential of Google Earth as a tool in invasion science. *Biological Invasions.* 2014;16(3):513-34.
- [27] Martínez-Sánchez J, González-de Santos LM, Novo A, González-Jorge H. UAV and satellite imagery applied to alien species mapping in NW Spain. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci.* 2019;XLII-2/W13:455-9.
- [28] Pinto J, Sousa A, Sousa JJ, Peres E, Pádua L. *Acacia dealbata* classification from aerial imagery acquired using unmanned aerial vehicles. *Procedia Computer Science.* 2023;219:626-33.
- [29] Cervigón P, Ferencova Z, Cascón Á, Romero-Morte J, Galán Díaz J, Sabariego S, et al. Importance of the quality management of aerobiological monitoring networks: The case study of Madrid Region in Spain. *Science of The Total Environment.* 2024;954:176544.
- [30] Domingo D, Pérez-Rodríguez F, Gómez-García E, Rodríguez-Puerta F. Assessing the Efficacy of Phenological Spectral Differences to Detect Invasive Alien *Acacia dealbata* Using Sentinel-2 Data in Southern Europe. *Remote Sensing.* 2023;15(3).

Do sexting ao acoso e abuso sexual baseado nas imaxes: novos perigos subxacentes de violencia sexual en liña entre adolescentes ourensáns

R. Martínez-Román, Y. Rodríguez-Castro e M. Lameiras-Fernández

Departamento de Análise e Intervención Psicosocioeducativa,

campus de Ourense, Universidade de Vigo

rosana.mr@uvigo.gal, yrcastro@uvigo.gal, lameiras@uvigo.gal

Resumo

O comportamento de acoso e abuso sexual baseado nas imaxes desempeñan un papel influente no proceso de construción das relacións interpersoais, así como no desenvolvemento sexual do colectivo adolescente. Isto impacta negativamente nas relacións interpersoais, así como no benestar dos/as adolescentes cando o contido sexual se difunde sen consentimento ou cando estes/estas senten presión para participar en prácticas sexuais abusivas e violentas. O obxectivo do presente estudo centrouse en avaliar o recente fenómeno do acoso e abuso sexual baseado nas imaxes autoproducidas e difundidas entre os/as adolescentes ourensáns. Para iso, levouse a cabo unha investigación con metodoloxía multimétodo, a través da integración do enfoque cuantitativo e cualitativo. A dimensión cuantitativa está composta cunha mostra de 1140 estudantes da ESO, bacharelato e ciclos medios de formación profesional da provincia de Ourense. E a dimensión cualitativa está composta por 12 grupos de discusión nos que participaron un total de 160 estudantes. Os resultados obtidos permítenos mostrar que os/as adolescentes ourensáns producen os seus propios contidos de imaxes, principalmente, sexuais para publicar, enviar, compartir ou

reenviar as imaxes a través das redes sociais ou aplicacións de mensaxaría instantánea. Este fenómeno coloca os/as adolescentes en situacións de vulnerabilidade e de converterse en vítimas ou perpetradores de violencia sexual en liña.

Palabras clave: acoso e abuso sexual baseado en imaxes, adolescencia e ciberviolencia sexual

1. Introducción

A esfera virtual converteuse nun novo espazo de cibersocialización, especialmente entre o colectivo adolescente que se denomina a xeración Z debido a que naceron e creceron co espazo virtual [1]. En España o 96 % dos/as adolescentes navegan por internet [2], e case 9 de cada 10 adolescentes se conectan varias veces ao día a internet ou están permanentemente na rede [3]. Un 98,5 % dos/as adolescentes españois están rexistrados nunha rede social, mentres que un 83,5 % está rexistrado en máis de tres redes sociais [4]. Tal e como evidencia o último estudo *IAB Spain* [5], as redes sociais ou plataformas máis utilizadas polos/as adolescentes entre 12 e 18 anos son WhatsApp (94 %), Instagram (84 %), TikTok (79 %) e Youtube (67 %). Do mesmo xeito, o uso das redes sociais está a aumentar en todo o mundo. O estudo de Burnell *et al.* [6] mostra que as redes sociais máis utilizadas no ámbito internacional pola mocidade entre 13 e 17 anos son WhatsApp, TikTok, Instagram e Snapchat, e para os/as xoves entre 18 e 24 anos WhatsApp, Instagram, Twitter e Snapchat. Con todo, independentemente do país, a literatura científica confirma o uso intensivo das redes sociais por parte do colectivo xuvenil en todo o mundo [7, 8], e nestas redes sociais a interacción social realízase maioritariamente mediante o intercambio de vídeos, audios, imaxes e textos curtos [9].

Así, o uso de internet, as redes sociais e as aplicacións de mensaxaría instantánea son ferramentas que o colectivo adolescente está a utilizar para comunicarse e relacionarse, tanto co seu grupo de iguais coma coas súas parellas, e chega a representar a comunicación en liña o espazo preferido, fronte á comunicación cara a cara [10]. Estas formas de comunicación e de interacción na esfera en liña están a xerar novos desafíos nas relacións interpersoais [11], como é o aumento global das condutas de *sexting* que implica o envío, recepción, intercambio e difusión de mensaxes de texto, imaxes ou vídeos con contido sexual [12]. Os estudos científicos no ámbito internacional e nacional constatan que o *sexting* é unha práctica sexual xeneralizada e normalizada nas relacións socioafectivas no colectivo adolescente [13, 14, 15, 16, 10,

17]. E o colectivo adolescente considera estas prácticas divertidas e inocuas [18]. Este feito propiciou a necesidade de poñer o foco de atención na distinción entre *sexting* consentido e *sexting* non consentido para identificar que tipo de comportamentos están representando prácticas de violencia sexual en liña.

O *sexting* consentido refírese á práctica de enviar, recibir ou intercambiar fotos, vídeos ou mensaxes de contido sexual, de forma consentida e co acordo mutuo de manter a privacidade e a confidencialidade de todas as partes involucradas no contido sexual [12, 19]. Pero incluso estas prácticas de *sexting* consentido poden converterse nunha oportunidade para o acoso ou o abuso sexual, cando o receptor das imaxes/vídeos unilateralmente decida violar o acordo de confidencialidade das imaxes recibidas, sobre as que se perde o control unha vez que estas se intercambian no espazo virtual. E o *sexting* non consentido refírese a crear, producir, distribuír ou intercambiar imaxes ou vídeos de índole sexual sen o consentimento da persoa que aparece no contido sexual [12, 15, 19]. Os estudos no ámbito internacional e nacional de *sexting* non consentido en adolescentes evidencian que entre un 4,9 % e un 33,9 % do colectivo adolescente levaron a cabo comportamentos de *sexting* non consentido, difundindo ou intercambiando contido sexual sen o consentimento da outra persoa, e entre un 3,4 % e un 16 % do colectivo adolescente foi vítima [12, 13, 15, 20], o que sitúa a media de idade destes episodios entre os 12 e os 16 anos [12, 15].

Así, a reconceptualización do fenómeno do *sexting* entre practicas consentidas e non consentidas representa un relevante punto de inflexión para identificar e tratar os comportamentos de *sexting* non consentido como comportamentos de violencia sexual en liña [21, 22]. Estas prácticas de *sexting* non consentido representan formas de violencia sexual baseadas nas novas tecnoloxías e incorpóranse os termos de acoso sexual baseado en imaxes e abuso sexual baseado en imaxes [18] para describir a distribución de imaxes sexualizadas autoproducidas na esfera en liña.

O acoso sexual baseado en imaxes é un concepto que engloba comportamentos sexuais non desexados na esfera en liña [21], como presións ou solicitudes non desexadas de imaxes sexuais (por exemplo, solicitar imaxes espidas) e a recepción de imaxes sexuais non desexadas (recibir fotos sexuais non solicitadas e non desexadas como por exemplo a «foto pene») [18, 21, 23]. En España, o estudo de Gámez-Guadix e Mateos-Pérez [24] evidencia que 1 de cada 5 mozas adolescentes, entre 12-14 anos, reciben solicitudes non desexadas de imaxes sexuais de mozos a través das redes sociais.

O termo *abuso sexual* baseado en imaxes refírese a unha serie de comportamentos de abuso e agresión como: i) compartir imaxes ou vídeos sexuais íntimos sen o consentimento da outra persoa; ii) sacar fotos ou gravar vídeos con contido sexual sen o consentimento da outra persoa e compartilo con outras persoas; iii) crear contido sexual sen o consentimento da outra persoa utilizando aplicacións da intelixencia artificial para editar e manipular o contido sexual e difundilo (fenómeno coñecido como *deepfakes*); e, por último, iv) compartir imaxes ou vídeos sexuais sen consentimento con intención de causar humillación, vinganza, angustia, acoso, ameazar, manipular ou extorsionar a vítima [12, 15, 25, 26, 27, 28]. En España, o estudo de Gámez-Guadix *et al.* [15] analiza as dúas formas máis preocupantes de abuso sexual baseado en imaxes (*sexting* non consentido e sextorsión) no colectivo adolescente. O citado estudo evidencia que un 4,5 % dos/as adolescentes lle mostraron a alguén unha imaxe ou vídeo sexual doutra persoa sen o seu consentimento e o 3,3 % foi vítima de *sexting* non consentido. Na liña dos estudos internacionais sitúanse os primeiros episodios de abuso sexual baseado en imaxes nos 12 anos.

Os conceptos de acoso e abuso sexual baseado en imaxes autoproducidas por adolescentes permiten visibilizar e comprender mellor a natureza abusiva e agresiva destas prácticas de ciberviolencia, coa que detallar a variedade de comportamentos de violencia sexual que se perpetúan na esfera en liña, principalmente levada a cabo polos mozos, sendo as mozas e mulleres as principais vítimas [18, 21, 22, 26]. Estes conceptos desmárcanse da confusión que o termo do *sexting* xerou como práctica non problemática e mesmo positiva entre o colectivo adolescente. Pero para poder comprender e analizar como as mozas están a converterse nas principais vítimas e os mozos nos principais perpetradores de acoso e abuso sexual baseado en imaxes é necesario enmarcar a análise desde unha perspectiva de xénero a través do que analizar como estas formas de violencia sexual reproducen os estereotipos de xénero tanto descritivos (como deben ser) coma prescritivos (como deben comportarse) elas e eles nas sociedades patriarcais de primacía masculina das que derivan as violencias que sofren as mulleres [10].

Con todo, a literatura científica no ámbito internacional mostra que entre un 3 % e un 12 % dos/as adolescentes perpetraron algún comportamento como crear, producir, publicar, distribuír ou intercambiar contido sexual, sen o consentimento da outra persoa, na esfera en liña. Os estudos reiteradamente confirman que son os mozos máis perpetradores de acoso e abuso sexual baseado en imaxes, en comparación coas mozas [13, 25, 26, 29, 30]. Ademais, a literatura científica destaca que os/as adolescentes perciben

estas imaxes como «divertidas» e as principais motivacións para levar a cabo comportamentos de acoso e abuso sexual baseado en imaxes é para obter imaxes sexuais e despois compartilas cos seus compañeiros e recibir recoñecemento social no grupo de iguais [31, 32, 33]. Destacan as motivacións dos mozos que sinalan a presión por parte do grupo de iguais para aumentar a popularidade ou o seu valor de «masculinidade» [18]. Estas prácticas dos mozos de «suxerir é unha forma de dereito masculino naturalizado» [18], que recibe reforzo no espazo de homosocialización en liña como unha práctica «divertida» cando eles comparten fotos autoproducidas de contido sexual (por exemplo, fotos de penes). As condutas e as xustificacións dos mozos, así como as limitacións das mozas para identificar estas condutas como ciberviolencias sexuais, mostra a internalización dos estereotipos de xénero, do sexismo e das normas patriarcais da masculinidade hexemónica [18]. Neste sentido, diferentes estudos evidencian consecuencias potencialmente negativas para as vítimas de acoso e abuso sexual baseado en imaxes como a perda de autoestima, depresión, ansiedade, ataques de pánico, trastorno de estrés postraumático, illamento, pensamentos suicidas [34, 28] ou mesmo o suicidio [35].

Nos últimos anos, o crecente impacto do acoso e abuso sexual baseado en imaxes no colectivo adolescente converteuse nunha gran preocupación para investigadores/as e educadores/as [12, 15, 24, 25, 28, 36]. Os e as adolescentes atópanse nunha etapa de desenvolvemento crucial, na que experimentan novas formas de relación afectiva e sexual, como o namoramento, aparecen novos intereses, inícianse as primeiras relacións de parella e tamén as primeiras relacións sexuais [10]. O acoso e o abuso sexual baseado en imaxes desempeña un papel influínte no proceso de construción das relacións interpersoais, así como no desenvolvemento sexual dos/as adolescentes [22, 36], que impacta negativamente nas relacións interpersoais, así como no benestar dos/as adolescentes cando o contido sexual se difunde sen consentimento ou cando os/as xoves senten presión dos seus compañeiros/as ou parella para participar en prácticas sexuais abusivas e violentas [12, 15, 25, 36]. Por tanto, é necesario realizar estudos que contribúan a profundar no acoso e abuso sexual baseado en imaxes entre adolescentes no contexto español, ao ser unha liña de investigación incipiente no noso país [15, 36]. Ademais, consideramos importante que os estudos científicos realicen unha distinción entre prácticas de *sexting* consentido e non consentido para identificar e tratar os comportamentos de acoso e abuso sexual baseado en imaxes, que representa formas de violencia sexual en liña [18].

Por todo o exposto, o obxectivo deste proxecto foi analizar as percepcións, actitudes, comportamentos, experiencias, motivacións e consecuencias do acoso e abuso sexual baseado nas imaxes autoproducidas e difundidas entre os/as adolescentes ourensáns, coa finalidade de xerar coñecemento científico para a súa prevención e intervención psicosocioeducativa.

2. Metodoloxía

2.1. Descrición da mostra cuantitativa e cualitativa do estudo multimétodo

A mostra cuantitativa da investigación está composta por 1140 estudantes do segundo ciclo da educación secundaria obrigatoria, bacharelato e ciclos medios de formación profesional, dos cales un 44,4 % son mozas, un 53,4 % son mozos e un 2,2 % non identifican o seu xénero. O rango de idade vai desde os 13 aos 23 anos, e a media de idade é de 15,67 (DT: 1,82). No relativo á distribución por lugar de residencia, o 23,5 % dos e das estudantes referencian vivir en zona urbana, fronte ao 76,5 % que residen na zona rural ou semi-rural da provincia de Ourense.

A mostra cualitativa do estudo está composta por 12 grupos de discusión, no que participaron un total de 160 estudantes, dos cales 98 son mozas e 62 son mozos, cun rango de idade entre os 13 aos 23 anos. No relativo á distribución por lugar de residencia, 58 estudantes afirman vivir en zona urbana, fronte ao 102 que residen na zona rural ou semi-rural da provincia de Ourense.

2.2. Procedemento

2.2.1. Contacto cos centros educativos da provincia de Ourense

Nun primeiro momento realizouse unha procura dos centros educativos da provincia de Ourense a través dos rexistros informativos da Xunta de Galicia a disposición pública (www.xunta.es/educación). Unha vez identificados os centros educativos da provincia de Ourense, contactouse inicialmente vía correo electrónico con todos os institutos de educación secundaria. Nesta comunicación inicial informábase os/as responsables educativos da realización da investigación, así como dun breve resumo dos obxectivos e a metodoloxía do estudo. Unha vez que os centros educativos mostraban o seu interese en participar no estudo, contactábase coa persoa responsable do centro educativo coa finalidade de proporcionar máis información da investigación e

explicar cal sería o procedemento para a aplicación tanto da dimensión cuantitativa coma cualitativa. Unha vez confirmada a aceptación do centro para colaborar coa investigación, fixébase o día e a hora para a aplicación dos cuestionarios ou dos grupos de discusión ao alumnado.

2.2.2. Implementación da dimensión cuantitativa e cualitativa do estudo multimétodo

Tanto os cuestionarios coma os grupos de discusión leváronse a cabo nos propios centros educativos durante o horario lectivo, nalgúns casos durante o horario de titorías (nos cursos de terceiro e cuarto da ESO) ou ben en horas cedidas polo profesorado (en bacharelato e ciclos medios de formación profesional). O tempo de aplicación das enquisas e dos grupos de discusión foron aproximadamente de 40/50 minutos.

No momento da implementación dos cuestionarios e dos grupos de discusión explicouse o procedemento para cubrir a enquisa, e no caso dos grupos de discusión o procedemento para responder as preguntas. Conxuntamente, informábase os/as estudantes do carácter anónimo e voluntario da súa participación na investigación, así como de que a utilidade do estudo quedaba condicionada á sinceridade das súas respostas, garantindo a súa absoluta confidencialidade.

Tamén cabe destacar que para a implementación dos cuestionarios, así como para levar a cabo os grupos de discusión, contouse co *consentimento informado pasivo*, a través do consentimento da comunidade académica (responsables académicos, profesorado e ANPAS) dos respectivos centros educativos, para que os/as adolescentes puidesen participar no estudo.

Por último, cómpre sinalar que tanto a aplicación dos cuestionarios coma os grupos e discusión transcorreron con normalidade en todos os centros educativos.

2.3. Instrumentos

2.3.1. Instrumentos da dimensión cuantitativa

Para o desenvolvemento deste estudo utilizouse un cuestionario creado *ad hoc*. O cuestionario quedou composto polas seguintes cuestións e escalas:

- 1) *Cuestionario sociodemográfico*: nacionalidade, idade, curso académico, xénero, orientación sexual, se tiveran parella de máis de seis meses de duración, se tiñan parella actualmente e a idade da súa parella.

- 2) Cuestións creadas *ad hoc* para avaliar as actitudes e os comportamentos dos/as adolescentes relativas ao acoso e abuso sexual baseado en imaxes.
- 3) *Inventario de sexismo ambivalente (ASI) [37] na versión española* de Rodríguez *et al.* [38]. Esta escala está formada por dúas subescalas: (a) o sexismo hostil (ASI-H), que avalía o sexismo con ton negativo cara ás mulleres, e (b) o sexismo benevolente (ASI-B), que avalía o sexismo con ton afectivo positivo cara ás mulleres. Na escala inclúense 6 ítems para avaliar o sexismo hostil (ASI-H) e 6 ítems para avaliar o sexismo ambivalente (ASI-B). Para cuantificar as respostas a cada ítem da escala utilízase unha escala de tipo Likert de 6 opcións, que vai desde 1 (totalmente en desacordo) a 6 (totalmente de acordo). A interpretación da escala implica que a maior puntuación maior nivel de sexismo hostil e de sexismo benevolente. A escala orixinal obtivo un alfa de Cronbach da escala da versión española [38] de .82 para a subescala de sexismo hostil e .67 para a subescala de sexismo benevolente.
- 4) *Sexual Image-Based Abuse Myth Acceptance Scale (SIAMA) [27]*. Esta escala baséase na aceptación do mito da violación [27, 39] relacionados coas condutas de abuso sexual baseado en imaxes. As actitudes cara ao abuso sexual baseado en imaxes medíronse utilizando a escala de aceptación do mito do abuso baseado en imaxes sexuais que contén 18 ítems relacionados con actitudes que minimizan/escusan os danos e culpan as vítimas deste tipo de violencia sexual en liña. A escala SIAMA divídese en dous compoñentes: o compoñente «minimizar/escusar» ($\alpha = 0,93$) (dende o ítem 1 ata o 12) e o compoñente «culpar» (dende o ítem 13 ata o ítem 19) ($\alpha = 0,87$). Para cuantificar as respostas a cada ítem da escala utilízase unha escala de tipo Likert de 7 puntos, que vai desde 1 «moi en desacordo» a 7 «moi de acordo». Canto maior é a puntuación, maior é a adhesión ás crenzas erróneas e actitudes que minimizan, xustifican ou normalizan as condutas de abuso sexual baseado en imaxes, así como a difusión non consensuada de imaxes íntimas.
- 5) *Moral Disengagement in Image-Based Sexual Abuse Scale (MDiISA) [40]*. Esta escala mide a desvinculación moral que as persoas poden usar para xustificar os comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes. A escala consta de 30 ítems ($\alpha = .93$). Non obstante, no presente estudo utilizáronse os 14 ítems

da escala que miden: i) a *linguaxe eufemística* con 3 ítems (p. ex.: publicar unha foto de alguén en internet é só por un pouco de diversión); ii) a *comparación vantaxosa* con 4 ítems (p. ex.: comparado cos abusos que ocorren na «vida real», publicar unha foto sen consentimento en internet non é tan grave); iii) a *distorsión das consecuencias* con 3 ítems (p. ex.: o maltrato en liña non é tan prexudicial coma maltratar a alguén na «vida real») e, por último, os 4 ítems que miden iv) a *atribución de culpa* (p. ex.: se unha persoa envía unha foto provocativa, quere que se comparta cos demais). Todos os ítems se mediron nunha escala de tipo Likert de 7 puntos (1 = totalmente en desacordo, 7 = totalmente de acordo).

6) *Sexual self-image behaviors* [27]. Esta escala está composta por 11 ítems que miden diferentes comportamentos relacionados coa autoimaxe sexual e con condutas relacionadas co acoso e abuso sexual baseado en imaxes. Para cuantificar as respostas a cada ítem da escala utilízase unha escala de tipo Likert de 5 puntos onde 0 = «nunca», 1 = «de cando en cando», 2 = «ás veces», 3 = «a miúdo» e 4 = «frecuentemente».

7) *Vitimización do abuso facilitado pola tecnoloxía*. Esta escala mide as experiencias de acoso e abuso sexual a través dos medios tecnolóxicos. A escala está composta por ítems que da escala de abuso facilitado pola tecnoloxía nas relacións, desenvolvida por Brown e Hegarty [41], e tamén por ítems da escala de abuso baseado en imaxes, desenvolvidos por primeira vez por Powell e Henry [27, 28]. Isto deu como resultado un conxunto de 30 ítems que describen comportamentos non desexados, acosadores e danos en liña ou a través de calquera «dispositivo dixital», como teléfonos móbiles, tabletas, ordenadores, consolas de xogo, entre outros. A escala está composta por 4 factores: *humillación* (8 ítems, $\alpha = .847$), *vixilancia e control* (7 ítems, $\alpha = .905$), *coerción sexual* (7 ítems, $\alpha = .884$) e *ameazas* (8 ítems, $\alpha = .928$). Con todo, no presente estudo non se utilizaron os ítems que corresponden ao factor de humillación. Desta forma, desta escala, utilizáronse os primeiros 21 ítems que corresponden aos factores de *vixilancia e control*, *coerción sexual* e *ameazas*. Para cuantificar as respostas a cada ítem utilízase unha escala de tipo Likert de nunca, 1-2 veces, 3-4 veces, 5 ou máis veces).

2.3.2. Dimensión cualitativa

O guión de preguntas dos grupos de discusión con adolescentes ourensáns deseñouse *ad hoc*, a través de preguntas de carácter semiestruturado, único para todos os grupos, co obxectivo de garantir a uniformidade da información recollida. Mediante este guión de preguntas recolleuse información en relación con cuestións clave para o estudo como as actitudes, os comportamentos en liña e a percepción de risco asociados co envío, difusión, creación, manipulación e petición de imaxes de tipo sexual.

3. Resultados

3.1. Resultados alcanzados na dimensión cuantitativa

3.1.1. Análise do perfil sociodemográfico dos e das estudantes ourensáns

Neste apartado analizamos o perfil sociodemográfico dos e das adolescentes ourensáns participantes neste estudo (véxase a táboa 1).

En relación co *curso académico*, o 62,1 % dos e das participantes no estudo pertencen a cursos de educación secundaria obrigatoria, dos cales o 31,5 % son de terceiro e 30,6 % de cuarto curso. Mentres que o 37,9 % restante da mostra son alumnado de educación postobrigatoria, ao ser o 14,8 % alumnado de primeiro e segundo de bacharelato (8,6 % e 6,2 %, respectivamente) e 23,1 % de ciclos medios de formación profesional.

En canto á *nacionalidade* atopamos que os/as adolescentes participantes do estudo son maioritariamente de nacionalidade española (88,8 %), xa que soamente o 11,2 % afirma ter nacionalidade estranxeira.

No relativo á *situación sentimental* dos e das adolescentes participantes do estudo, máis da metade (65,9 %) admite ter unha relación sentimental actual ou no pasado. Así, o 26,2 % afirma ter parella no momento de aplicación da enquisa e o 39,7 % expresa que tivo unha ou varias parellas no pasado. A media de idade da parella é de 16,75 % (DT: 3,02).

Táboa 1. Perfil sociodemográfico da mostra de estudo

Curso	3.º da ESO	31,5 %
	4.º da ESO	30,6 %
	1.º de bacharelato	8,6 %
	2.º de bacharelato	6,2 %
	Ciclos medios de FP	23,1 %
Nacionalidade	Española	88,8 %
	Estranxeira	11,2 %
Parella sentimental actual	Si	26,2 %
	Non	73,8 %
Parella sentimental anterior	Si	39,7 %
	Non	59,9 %

3.1.2. Actitudes dos/as adolescentes ante situacións de acoso e abuso sexual baseado en imaxes

No relativo ás actitudes dos/as adolescentes ourensáns ante situacións de acoso e abuso sexual baseado nas imaxes, atopámonos que os mozos e as mozas emitiron respostas diferentes antes as diversas situacións que se lle preguntaron.

En relación coa primeira situación sobre «se sobes unha nova foto de perfil nunha rede social e alguén che fai un comentario de tipo sexual sobre a túa foto», máis da metade dos mozos participantes no estudo (52,3 %) sinalaron que non se sentirían molestos por recibir comentarios sexuais sobre as súas fotos que publican nas redes sociais. Pola contra, un 83,6 % das mozas mostraron sentirse molestas se reciben este tipo de comentarios sexuais. Así, atopamos diferenzas significativas entre mozas e mozos, ao ser as mozas as que máis tenden a mostrar sentimentos negativos cando reciben comentarios sexuais as súas imaxes en redes sociais ($\chi^2 = 226,5$; $p < .001$) (véxase a táboa 2).

Na segunda situación, na que se lles preguntaba aos/ás adolescentes como se sentirían se «un ex-mozo/a te ameaza por compartir unha imaxe íntima túa en internet», encontramos que, aínda que mozos e mozas mostraron altos niveis de molestia ante a citada situación, a maioría das mozas (97,2 %) sinalaron que se sentirían significativamente máis molestas ca os mozos (83,8 %) ($\chi^2 = 92,4$; $p < .001$) (véxase a táboa 2).

No relativo á terceira situación sobre «cando estás nunha aplicación ou páxina web de citas (por exemplo, Tinder) e alguén che envía unha foto súa espido/a» atopamos diferenzas significativas entre mozas e mozos. Un 34,5 % dos mozos afirmaron que non lles molestaría esta situación, mentres que un 91,9 % das mozas sinalaron que se sentirían molestas ($\chi^2 = 264,1$; $p < .001$) (véxase a táboa 2).

E na última situación, na que se lles preguntaba aos/as adolescentes se se sentirían molestos se «un amigo/a che envía unha mensaxe cunha ligazón a un vídeo de contido pornográfico», novamente encontramos que as mozas (84,2 %) se sentirían significativamente máis incómodas ca os mozos (32,8 %) ($\chi^2 = 205,3$; $p < .001$) (véxase a táboa 2).

Táboa 2. Actitudes dos/as adolescentes ante situacións de acoso e abuso sexual baseado en imaxes

		Xénero	
		Mozos (n = 609)	Mozas (n = 506)
Se sobes unha nova foto de perfil nunha rede social e alguén che fai un comentario de tipo sexual sobre a túa foto.	Nada molesto	38,3 %	3 %
	Un pouco molesto	14 %	13,4 %
	Algo molesto	23 %	28,7 %
	Moi molesto	14,9 %	32 %
	Extremadamente molesto	9,9 %	22,9 %
		$\chi^2 = 226,5^{***}$	
Cando un ex-mozo/a te ameaza por compartir unha imaxe íntima túa en internet.	Nada molesto	7,9 %	0,6 %
	Un pouco molesto	3,4 %	1 %
	Algo molesto	4,9 %	1,2 %
	Moi molesto	15,3 %	9,1 %
	Extremadamente molesto	68,5 %	88,1 %
		$\chi^2 = 92,4^{***}$	
Cando estás nunha aplicación ou páxina web de citas (por exemplo, Tinder) e alguén che envía unha foto súa espido.	Nada molesto	34,5 %	3,4 %
	Un pouco molesto	16,9 %	4,7 %
	Algo molesto	20,1 %	26,1 %
	Moi molesto	15,5 %	30,2 %
	Extremadamente molesto	13 %	35,6 %
		$\chi^2 = 264,1^{***}$	
Un amigo/a enviache unha mensaxe cunha ligazón a un vídeo de contido pornográfico.	Nada molesto	32,8 %	5,7 %
	Un pouco molesto	17,7 %	10,1 %
	Algo molesto	16,6 %	13,8 %
	Moi molesto	16,7 %	28,9 %
	Extremadamente molesto	16,1 %	41,5 %
		$\chi^2 = 205,3^{***}$	

Nota: * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

3.1.3. Diferenzas de medias entre mozos e mozas na escala de desvinculación moral no abuso sexual baseado en imaxes [40]

En canto á escala de desvinculación moral no abuso sexual baseado en imaxes [40], encontramos diferenzas significativas entre mozos e mozas, ao ser os mozos os que mostraron unha puntuación media máis alta na escala de desconexión moral en comportamentos de abuso sexual baseado nas imaxes, en comparación coas mozas ($t = 10,17$; $p < .001$) (véxase a táboa 3). Así, os resultados permítenos evidenciar que son os mozos os que teñen interiorizadas máis actitudes positivas para xustificar e perpetuar comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes.

Táboa 3. Diferenzas de medias entre mozos e mozas na escala de desvinculación moral no abuso sexual baseado en imaxes

	M (DT)		t	p
	Mozos (n = 609)	Mozas (n = 506)		
Moral Disengagement in Image-Based Sexual Abuse Scale (MDiISA)	2,14 (1.06)	1,60 (.58)	10,17	.001

Nota: DT: desviación típica; t: proba t-student; p: nivel de significación

Nota: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

3.1.4. Diferenzas de medias entre mozos e mozas na escala de aceptación de mitos sobre o abuso sexual baseado en imaxes [27]

Para seguir profundando nas actitudes dos mozos e mozas ourensáns sobre os comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes, analizamos a escala de aceptación de mitos sobre o abuso sexual baseado en imaxes [27] e atopamos diferenzas significativas entre mozos e mozas. Foron os mozos os que mostraron unha puntuación media máis alta en comparación coas mozas ($t = 5,12$; $p < .001$) (véxase a táboa 4), o que implica que son os mozos os que aceptan máis mitos relacionados co abuso sexual baseado en imaxes. Deste xeito, os mozos minimizan a gravidade do abuso, culpan as vítimas e xustifican os comportamentos dos agresores.

Táboa 4. Diferenzas de medias entre mozos e mozas na escala de aceptación de mitos sobre o abuso sexual baseado en imaxes

	M (DT)		t	p
	Mozos (n = 609)	Mozas (n = 506)		
Sexual Image-Based Abuse Myth Acceptance Scale (SIAMA)	2,25(.96)	1,99(.68)	5,12	.001

Nota: DT: desviación típica; t: prueba *t-student*; p: nivel de significación

Nota: *p<.05, **p<.01, ***p<.001

3.1.5. Comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes entre os/as adolescentes ourensáns

En relación cos comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes entre os/as adolescentes ourensáns (véxase a táboa 5), atopamos que un 12,8 % dos mozos e un 8,3 % das mozas dispoñen de grupos de *chat* no que envían ou reenvían contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista. Conxuntamente encontramos que máis da metade dos mozos (51,2 %) e das mozas (55,8 %) sinalan que participan activamente nos grupos de *chat* enviando contido sexual.

Os resultados do estudo tamén nos permiten evidenciar que un 6,8 % dos mozos e un 4,2 % das mozas algunha vez crearon imaxes falsas ou retocadas con Photoshop ou con aplicacións con intelixencia artificial para envialas ou subilas ás redes sociais, sen o consentimento da outra persoa. Ademais, un 7,7 % dos mozos e un 3,4 % das mozas realizaron capturas de pantalla de imaxes ou vídeos de tipo sexual coa intención de compartilas sen o consentimento da persoa protagonista.

En canto ás diferenzas en función do xénero, detectamos que son os mozos os que levan a cabo máis comportamentos como dispoñer de máis grupos de *chat* onde comparten contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista ($\chi^2 = 15,16$; $p < .001$); crear imaxes falsas ou retocadas con Photoshop ou con aplicacións con intelixencia artificial para enviar ou subir as imaxes ás redes sociais sen o consentimento da outra persoa ($\chi^2 = 127,66$; $p < .001$); e tamén en realizar capturas de pantalla de imaxes ou vídeos de tipo sexual coa intención de compartilas sen o consentimento da outra persoa ($\chi^2 = 52,30$; $p < .001$) (véxase a táboa 5). Non obstante, non atopamos diferenzas significativas entre os mozos e as mozas (51,2 % e 55,8 %, respectivamente) ($\chi^2 = .289$; $p < .865$) na participación activa nos grupos de *chat* (p. ex.: en WhatsApp) enviando contido sexual (véxase a táboa 5).

Táboa 5. Comportamentos de abuso sexual baseado en imaxes entre os/as adolescentes ourensáns

		Xénero	
		Mozos (n = 609)	Mozas (n = 506)
Dispós dun grupo de <i>chat</i> (p. ex.: en WhatsApp) cos teus colegas no que se envía ou reenvía contido sexual doutras persoas sen o seu consentimento?	Non	87,2 %	91,7 %
	Si	12,8 %	8,3 %
		Chi ² = 15.16; <.001	
No caso afirmativo, participas activamente no grupo de <i>chat</i> (p. ex.: en WhatsApp) enviando contido sexual?	Non	48,8 %	44,2 %
	Si	51,2 %	55,8 %
		Chi ² = .289; <.865	
Algunha vez creaches imaxes falsas ou retocadas con Photoshop ou con aplicacións con intelixencia artificial e enviáchelas ou subíchelas a redes sociais sen o consentimento da outra persoa?	Non	93,2 %	95,8 %
	Si	6,8 %	4,2 %
		Chi ² = 127,66; <.001	
Algunha vez realizaches capturas de pantalla de imaxes ou vídeos de tipo sexual coa intención de compartilas sen o consentimento da outra persoa?	Non	92,3 %	96,6 %
	Si	7,7 %	3,4 %
		Chi ² =52.30; <.001	

Nota: *p<.05, **p<.01, ***p<.001.

3.1.6. Diferenzas de medias entre mozos e mozas na escala de comportamentos de autoimaxe sexual.

En canto a escala de comportamentos de autoimaxe sexual [27] non encontramos diferenzas significativas entre os e as adolescentes ourensáns. Isto implica que tanto mozos e mozas levan a cabo comportamentos relacionados coa súa autoimaxe sexual e tamén perpetúan conductas relacionadas co acoso e co abuso sexual baseado nas imaxes (p. ex.: solicitar, recibir, compartir, mostrar, publicar ou gardar imaxes sexuais, sen o consentimento da persoa protagonista) ($t = 10,17$; $p < .001$) (véxase a táboa 6).

Táboa 6. Diferenzas de medias na escala de comportamentos de autoimaxe sexual, en función do xénero

	M (DT)		t	p
	Mozos (n = 609)	Mozas (n = 506)		
Sexual self-image behaviors	.22(.51)	.23(.36)	-.195	.140

Nota: DT: desviación típica; t: prueba *t-student*; p: nivel de significación

Nota: *p<.05, **p<.01, ***p<.001

3.2. Resultados alcanzados na dimensión cualitativa

A análise dos discursos dos/as adolescentes participantes no estudo permitiunos establecer tres categorías primarias: i) os/as adolescentes creadores de contido de imaxes, ii) acoso sexual baseado en imaxes sexuais e iii) abuso sexual baseado en imaxes sexuais. Estas categorías primarias, á súa vez, materialízanse en categorías secundarias e terciarias, a través das cales se expoñen os resultados a continuación.

I. Os/as adolescentes creadores de contido de imaxes

1.1. Percepción dos mozos e mozas sobre a creación de contido de imaxes

A maioría dos/as adolescentes consideran que son as mozas as que autoproducen máis contido de imaxes, en comparación cos mozos: «as mozas fanse máis fotos ca os mozos» (Mozo6, FG9.U).

De forma unánime, os mozos e as mozas consideran que a maioría do contido das imaxes que autoproducen son de índole sexual: «facémonos máis fotos en roupa interior ou ensinando algunha parte do noso corpo...» (Moza5, FG2.R). Non obstante, algunhas mozas manifestaron que tamén crean contido de imaxes non sexuais.

Algunhas mozas relataron que o contido de imaxes non sexuais que autoproducen é para publicalas en redes sociais e recibir retroalimentación positiva: «creamos contido de imaxes para subilas ás redes sociais e recibir “likes” ou comentarios positivos...» (Moza5, FG2.R); pero tamén autoproducen imaxes de índole sexual para enviarllas á súa parella ou posible parella: «as imaxes con alto contido só llelas enviamos aos nosos ligues ou parellas...» (Moza5, FG2.R).

Os mozos cren que as mozas autoproducen e envían contido sexual para obter a validación social dos mozos: «as mozas envían ou soben ese tipo de fotos ás redes sociais porque buscan a nosa validación» (Mozo6, FG9.U); e outros mozos consideran que as mozas envían imaxes, sexuais ou non sexuais, para captar a súa atención: «as mozas publican ou envían esas fotos para intentar gustarlle máis á persoa» (Mozo1, FG2.R). En cambio, os mozos recoñeceron que eles autoproducen contido sexual para lucrarse economicamente: «eu coas miñas imaxes sexuais intento gañar diñeiro, hai moitas mozas ou mulleres maiores que che pagan por enviarlles fotos subidas de ton...» (Mozo1, FG2.R).

A maioría dos/as adolescentes participantes consideran que son as mozas as que máis retocan as súas imaxes, a través de filtros ou aplicacións de edición: «as mozas

póñense máis filtros ca os mozos» (Moza1, FG1_R), «si, as mozas póñense máis filtros ca os mozos» (Mozo1, FG1, R). Os mozos consideran que as mozas retocan as súas imaxes por cuestións de inseguridade «porque son máis inseguras» (Mozo4, FG3.R); ou por unha cuestión de baixa autoestima: «os mozos temos a autoestima máis alta ca as mozas» (Mozo3, FG6.R). E as mozas argumentaron que retocan as súas imaxes por cuestión de estética, é dicir, por presión social para intentar cumprir cos canons de beleza socialmente establecidos: «porque as mozas estamos un pouco estigmatizadas, é coma se tivéssemos que ser súper preciosas e talentosas constantemente» (Moza4, FG1.R), «pola presión social que che di que tes que estar guapísima e perfecta» (Moza5, FG6.R). En cambio, outros/as participantes consideran que se utilizan filtros para retocar as imaxes para ligar e gustarlle a outra persoa: «eu creo que retocan as fotos para ligar» (Moza5, FG1.R), e que incluso utilizaron a intelixencia artificial para erotizar as súas imaxes: «eu coñezo xente que retocou as súas imaxes con aplicacións da IA para que o contido fose máis erótico» (Mozo2, FG11.R).

1.2. Tipoloxía da creación de contido de imaxes por parte dos/as adolescentes

As mozas e os mozos manifestaron que a maioría das imaxes que autoproducen son deles/as mesmos. Sitúanse fronte ao espello para fotografar o seu corpo enteiro: «saco fotos de min mesma fronte ao espello para que se vexa o meu corpo enteiro» (Moza9, FG1.R), «a maioría de fotos que me saco son de corpo enteiro» (Mozo2, FG4.R).

Outros/as adolescentes tamén mencionaron que fotografaban partes concretas do seu corpo. Os mozos manifestaron que resaltan nas súas fotografías a súa forza física e o seu corpo atlético: «eu saco fotos dos meus músculos e abdominais» (Mozo2, FG7.U); mentres que as mozas nas súas imaxes resaltan a súa beleza: «fago *selfis* da miña cara» (Moza1, FG2.R); aínda que tamén fotografan partes concretas do seu corpo: «eu saco fotos sexuais dalgunha parte erótica do meu corpo» (Moza4, FG11.R), «teño fotos do meu escote» (Moza5, FG11.R).

1.3. Espazo onde comparten os/as adolescentes as imaxes que autoproducen

As mozas e mozos comparten as imaxes que autoproducen en redes sociais ou en aplicacións de mensaxaría instantánea. Con todo, sinalan que as imaxes que comparten publicamente en redes sociais ou en aplicacións de mensaxaría instantánea non adoitan ser de alto contido sexual, a diferenza das imaxes que comparten por privado que si

que adoitan ser de alto contido sexual: «se fago *selfies*, imaxes ou mesmo vídeos que non son eróticos, súboos a redes sociais, pero as outras fotos máis eróticas enviámolas por privado» (Mozo3, FG6.R), «eu tamén subo fotos non sexuais a redes sociais; as fotos máis subidas de ton só llelas enviamos a mozos coñecidos e sempre por privado» (Moza 9, FG1.R). En cambio, outros/as participantes sinalaron que coñecen, principalmente, mozas que publican o seu contido de índole sexual sen restricións de privacidade: «eu coñezo moitas mozas que publicaron as súas imaxes en redes sociais» (Mozo3, FG11.R), «eu sei de mozas que soben fotos sexys ás redes sociais» (Moza10, FG12.R), «coñezo casos de mozas que publican fotos sexuais» (Mozo6, FG12.R).

II. Acoso sexual baseado en imaxes sexuais

II.1. A percepción dos mozos e mozas adolescentes sobre solicitar imaxes sexuais e enviar ou recibir imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas

No relativo a solicitar imaxes sexuais, a maioría das/os participantes consideran que os mozos son os que lles solicitan máis fotos ás mozas: «os mozos son os que están continuamente solicitándonos que lles enviamos as nosas fotos máis íntimas» (Moza4, FG12.UR). Os mozos participantes consideran que este tipo de comportamentos están moi normalizados e forman parte das dinámicas nas relacións interpersoais, mesmo consideran que socialmente se espera deles que lles soliciten imaxes sexuais ás mozas: «está moi normalizado e é moi común pedirllas fotos sexuais ás mozas; entón os mozos pensamos que debemos facelo...» (Mozo1, FG3.R), «eu creo que socialmente se espera que os mozos sexamos os que lles pedimos fotos sexuais ás mozas» (Mozo1, FG5.R). En cambio, as mozas resaltaron que reciben peticións non desexadas de imaxes sexuais, por parte dos mozos, e consideran que levan a cabo este tipo de comportamentos para reafirmar e reforzar a súa masculinidade no grupo de iguais: «socialmente está normalizado que os mozos nos soliciten imaxes sexuais que non desexamos enviarlles, porque se senten obrigados a demostrarlles aos seus colegas que son máis homes pedíndolles fotos ás mozas» (Moza1, FG2.R), «eu creo que os mozos piden máis fotos para ensinárllas aos seus amigos, rirse xuntos e facerse o *machote*» (Moza4, FG12.U).

No referente a enviar imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas, as mozas relatan que son os mozos os que máis envían imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas: «os mozos envían máis fotos sen que llelas pidas. Fálanche por unha rede social, abres

a mensaxe e é unha foto con contido sexual» (Moza2, FG8.U), «os mozos adoitan enviarlles máis fotos, sen o consentimento das mozas, a mozas que teñen parella, ou non lles interesa» (Mozo4, FG10. U). As mozas destacan que a imaxe sexual que máis adoitan enviar os mozos é a «foto pene»: «aos mozos dálles igual mandar unha foto do seu pene» (Moza1, FG4.R). As adolescentes tamén recoñeceron que envían contido sexual por presión por parte dos mozos: «as mozas ás veces sentimos presión para enviar contido sexual» (Moza1, FG4.R), «enviamos máis imaxes sexuais pero porque ás veces os mozos nos insisten e manipulan con deixarnos de falar» (Moza1, FG10, U). Algúns mozos participantes tamén corroboraron os argumentos das súas compañeiras: «eu creo que ás veces as mozas envían as súas imaxes sexuais porque se poden sentir presionadas polos mozos» (Mozo3, FG4.R).

En canto a recibir imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas, a maioría dos mozos e mozas consideran que son as mozas as que adoitan recibir máis imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas: «eu creo que son as mozas as que reciben máis imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas» (Mozo1, FG5.R). Ademais, as mozas cren que reciben este tipo de imaxes para que posteriormente se vexan comprometidas a enviarlles as mesmas imaxes sexuais aos mozos: «Tamén creo que os mozos che envían as fotos sexuais para logo recibilas de nós» (Moza17_FG8.U), «cando estás a coñecer un mozo non só recibes fotos de contido sexual, senón que tamén esixen que lles envíes fotos e insisten moito, e senón lles envías máis fotos enfádanse, deixan de falar ou mesmo te manipulan» (Moza18_FG8.Ou).

II.2. Comportamentos de solicitar imaxes sexuais, e enviar ou recibir imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas

II.2.1. A quen solicitan ou envían contido sexual non desexado

No referente a quen solicita imaxes sexuais, a maioría dos mozos argumentaron que lles solicitan imaxes ás mozas coñecidas: «solicitámoslles fotos ás mozas que coñecemos» (Mozo3, FG4.R). En canto ao envío de contido sexual non desexado nin solicitado, algúns mozos recoñeceron que lles enviaron imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas ás mozas. En cambio, algunhas mozas argumentaron que lles enviaron imaxes sexuais ás súas parellas que non desexarían enviar, pero que o fixeron porque se sentiron presionadas: «envieille imaxes sexuais á miña parella que non desexaría enviar, non me sentía cómoda, pero facíao por presión» (Moza6, FG8.U).

II.2.2. De quen reciben o contido sexual non solicitado nin desexado

As mozas relataron que reciben solicitudes ou imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas por parte das súas parellas: «por parte da miña parella» (Moza3, FG2.R), «amigos ou mozos coñecidos» (Moza6, FG10.U). Algunhas mozas tamén sinalaron mozos descoñecidos: «recibín imaxes non solicitadas nin desexadas por parte de mozos que eu non coñecía» (Moza2, FG8.U); e tamén sinalaron homes maiores descoñecidos: «recibín imaxes sexuais de señores maiores» (Moza7, FG12.R).

II.2.3. Tipoloxía do contido sexual non desexado nin solicitado

De forma unánime, as mozas relataron que as imaxes sexuais non desexadas nin solicitadas que máis reciben por parte dos mozos son as fotos «pene»: «a foto que máis recibimos é a foto pene» (Moza1, FG4.R). E os mozos argumentaron que a tipoloxía das imaxes que solicitan son sobre algunha parte concreta do corpo das mozas: «solicitámoslles fotos ás mozas das súas tetas, cu ou de alto contido sexual...» (Mozo3, FG4.R).

III. Abuso sexual baseado en imaxes sexuais

III.1. Percepción dos mozos e mozas adolescentes sobre o reenvío de contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista

A maioría das mozas e mozos consideran que a responsabilidade de reenviar imaxes sexuais recae en ambas as persoas, é dicir, tanto a persoa que envía como a que recibe a imaxe: «eu creo que se se difunde unha foto sexual de alguén, a responsabilidade é de ambos, quen a envía e quen a reenvía» (Moza5, FG4.R). En cambio, outros participantes, particularmente mozos, consideran que a responsabilidade de que o contido sexual se reenvíe recae na persoa protagonista que enviou a súa imaxe sexual: «eu creo que se unha moza envía unha foto sexual e logo outra persoa a reenvía, a culpa é da rapaza que enviou a foto, que non a enviase...» (Mozo3, FG12.R). E poucos/as participantes consideran que a responsabilidade recae na persoa que reenvía o contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista: «eu creo que a culpa é de quen difunde a foto sexual» (Mozo2, FG5.R).

Na análise de contido tamén se identificou que a maioría das mozas e mozos consideran que son os mozos os que máis reenvían contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista: «polo que eu vin, sempre son os mozos os que difunden fotos de

mozas, que llelas pasan aos seus amigos, e elas non o saben» (Moza6, FG12.R), «eu creo que os mozos, sobre todo na adolescencia, reenvían moitas fotos sen consentimento» (Mozo4, FG10.U).

Os mozos e mozas participantes cren que os mozos reenvían contido sexual pola presión social do grupo de iguais: «creo que a presión social xoga un papel importante á hora de enviar, reenviar ou intercambiar contido sexual (Moza1, FG6. R)», «creo que ás veces sentes moita presión social e ao final cedes e acabas reenviando ese tipo de contido (Mozo1, FG6.R). Algúns/as adolescentes engadiron que os mozos reenvían contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista para reforzar e reafirmar a súa masculinidade no seu grupo de iguais: «eu creo que o fan para reafirmar a súa masculinidade» (Mozo4, FG10.U). En cambio, algúns/as adolescentes consideran que as persoas que reenvían contido sexual sen consentimento é para burlarse, facerlle dano á persoa protagonista do contido: «para burlarse de alguén» (Mozo2, FG3.R); ou mesmo para manipular ou vingarse: «eu creo que a razón principal de reenviar esas fotos é a chantaxe ou manipulación...» (Moza5, FG3.R), «eu creo que se acabaches mal coa persoa, reenvíanse estas fotos como vinganza» (Moza3, FG3.R).

III.2. Comportamentos do reenvío de imaxes sexuais sen o consentimento da persoa protagonista

III.2.1. A quen reenvían o contido sexual sen consentimento

A maioría dos mozos e mozas sinalan que lles reenvían ou contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista aos seus amigos: «pásanllelas aos seus amigos» (Moza6, FG12.R), «reenvíollas a xente que coñezo» (Mozo4, FG5R).

III.2.2. De quen reciben o contido sexual sen consentimento

Os/as adolescentes recoñeceran que reciben o contido sexual sen o consentimento da persoa protagonista, tanto de persoas coñecidas coma descoñecidas: «envíanmas xente coñecida coma descoñecida» (Mozo1, FG5. R), «recibo contido sexual, en grupos de chat, de xente da miña idade» (Mozo4, FG10. U). Incluso unha moza participante relatou que recibiu contido sexual sen consentimento por parte do noivo dunha amiga: «o noivo dunha amiga reenvioulles todas as súas fotos sexuais a todos os grupos de chat, coa finalidade de facerlle dano» (Moza20, FG8.U).

III.2.3. Tipoloxía do contido sexual que reenvían os/as adolescentes sen o consentimento da persoa protagonista

O contido sexual que máis reenvían os/as adolescentes sen o consentimento da persoa protagonista son imaxes de alto contido sexual: «ás veces reenviamos fotos de alto contido sexual» (Mozo6, FG12.R); tamén *stickers* que elaboran a partir de imaxes sexuais: «enviamos moitos *stickers* de carácter sexual» (Mozo1, FG5.R); e mesmo vídeos de alto contido sexual, onde se visualizan prácticas sexuais: «eu recibín nun grupo de *chat* un vídeo dunha moza que estaba a practicar sexo oral con outro mozo. No vídeo vese como acenderon unha lanterna, empezaron a gravar e despois difundiron o vídeo no que só se ve a cara da moza e o pene do mozo» (Moza6, FG12.R).

4. Conclusión

O *sexting* é unha práctica sexual xeneralizada e normalizada nas relacións socioafectivas no colectivo adolescente [10, 13, 15, 16], e forma parte no desenvolvemento das relacións interpersonais, que lle permite ao colectivo adolescente satisfacer necesidades afectivo-sexuais como iniciar unha actividade sexual ou fortalecer relacións íntimas [10, 15]. Con todo, as prácticas de *sexting* poden materializarse en acoso e abuso sexual en liña, cando o receptor das imaxes ou vídeos sexuais decide violar o acordo de confidencialidade do contido sexual recibido, e sobre as que o emisor/a perde o control unha vez que estas se intercambian no espazo virtual. Por tanto, é necesario reconceptualizar as prácticas de *sexting* non consentido como comportamentos de violencia sexual en liña [21, 22, 36] a través do acoso e abuso sexual baseado en imaxes.

Estas formas de violencia sexual en liña, como o acoso e o abuso sexual baseado en imaxes, enmárcanse nun continuo das violencias sexuais que sofren as mozas e mulleres ao longo da vida porque comparte características comúns con outras formas de violencia sexual [18, 22], e os danos experimentados polas vítimas inclúen os identificados pola autora Kelly [42] como o «abuso, intimidación, coerción, intrusión, ameaza e forza». Ademais, as consecuencias do acoso e do abuso sexual baseado en imaxes inclúen a violación dos dereitos fundamentais das vítimas, a autonomía sexual, a súa integridade e a súa expresión sexual [22].

Consideramos que se prestou pouca atención ás formas en que se utilizan as TIC para perpetrar violencia sexual en liña, e tamén existe unha falta de resposta

psicosocioeducativa ás consecuencias negativas que se experimentan en situacións de produción ou distribución de imaxes sexuais non consentidas pola persoa protagonista. Ademais, os e as adolescentes carecen de ferramentas para identificar os comportamentos de acoso e abuso sexual baseado en imaxes como unha forma de ciberviolencia sexual e, a consecuencia, como un delito sexual. Pois, o colectivo adolescente considera estas prácticas como algo «social», «normal», «inofensivo» e «divertido» [18]. Por tanto, consideramos que para previr estes comportamentos de violencia sexual en liña os programas de educación sexual e dixital, desde un modelo integral, son a mellor ferramenta coeducativa para previr, concienciar e erradicar as ciberviolencias sexuais e de xénero no colectivo adolescentes, así como para construír relacións socioafectivas saudables, igualitarias e libres de calquera manifestación de violencia [36, 43, 44].

Referencias

- [1] Álvarez, E., Heredia, H., & Romero, M.F. (2019). La Generación Z y las Redes Sociales. Una visión desde los adolescentes en España. *Revista Espacios*, 40(20), 1-13.
- [2] Instituto Nacional de Estadística (INE). (2024). Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares. <https://ine.es/dyngs/Prensa/en/TICH2024.htm>
- [3] Save the Children. (2024). Informe sobre el uso de Internet entre adolescentes. Save the Children España. <https://www.savethechildren.es/notasprensa/nuevo-informe-casi-9-de-cada-10-adolescentes-se-conectan-varias-veces-al-dia-internet-o>
- [4] UNICEF. (2021). Impacto de la tecnología en la adolescencia: Relaciones, riesgos y oportunidades. UNICEF España. <https://www.unicef.es/publicacion/impacto-de-la-tecnologia-en-la-adolescencia>
- [5] IAB Spain. (2023). Estudio de Redes Sociales 2023. IAB Spain. <https://iabspain.es/estudio/estudio-de-redes-sociales-2023/>
- [6] Burnell, K., George, M. J., Kurup, A. R., & Underwood, M. K. (2021). Ur a freakin goddess! Examining appearance commentary on Instagram. *Psychology of Popular Media*, 10(4), 422. <https://doi.org/10.1037/ppm0000341>
- [7] Bärthel, M. (2018). YouTube channels, uploads and views: A statistical analysis of the past 10 years. *Convergence*, 24(1), 16-32. <https://doi.org/10.1177/1354856517736979>
- [8] Gray, L. (2018). Exploring how and why young people use social networking sites. *Educational Psychology in Practice*, 34(2), 175-194. <https://doi.org/10.1080/02667363.2018.1425829>

- [9] Rideout, V., Peebles, A., Mann, S., & Robb, M. B. (2022). The common Sense Census: Media Use by Tweens and Teens. https://www.commonsensemedia.org/sites/default/files/research/report/census_researchreport.pdf
- [10] Rodríguez-Castro, Y., Martínez, R., Alonso, P., Adá, A., & Carrera, M. V. (2021a). Intimate partner cyberstalking, sexism, pornography, and sexting in adolescents: new challenges for sex education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2181. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042181>
- [11] Englander, E. K., & McCoy, M. (2017). Pressured sexting and revenge porn in a sample of Massachusetts adolescents. *International Journal of Technoethics*, 8(2), 16-25.
- [12] Barroso, R., Ramião, E., Figueiredo, P., & Araújo, A. M. (2021). Abusive sexting in adolescence: Prevalence and characteristics of abusers and victims. *Frontiers in Psychology*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.610474>
- [13] Brighi, A., Amadori, A., Summerer, K., & Menin, D. (2023). Prevalence and risk factors for nonconsensual distribution of intimate images among Italian young adults: Implications for prevention and intervention. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 23(4), 100414. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100414>
- [14] Patchin, J. W., & Hinduja, S. (2020). Sextortion among adolescents: Results from a national survey of US youth. *Sexual Abuse*, 32(1), 30-54. <https://doi.org/10.1177/1079063218800469>
- [15] Gámez-Guadix, M., Mateos-Pérez, E., Wachs, S., Wright, M., Martínez, J., & Íncera, D. (2022). Assessing image-based sexual abuse: Measurement, prevalence, and temporal stability of sextortion and nonconsensual sexting ("revenge porn") among adolescents. *Journal of Adolescence*, 94(5), 789-799. <https://doi.org/10.1002/jad.12064>
- [16] Rodríguez-Castro, Y., Alonso-Ruido, P., Lameiras-Fernández, M., & Faílde-Garrido, J. M. (2018). Del sexting al cibercontrol en las relaciones de pareja de adolescentes españoles: análisis de sus argumentos. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 50(3), 170-178. <https://doi.org/10.14349/rlp.2018.v50.n3.4>
- [17] Van Ouytsel, J., Lu, Y., & Temple, J. R. (2022). An exploratory study of online early sexual initiation through pressured and unwanted sexting. *The Journal of Sex Research*, 59(6), 742-748. <https://doi.org/10.1080/00224499.2021.1963650>
- [18] Ringrose, J., Milne, B., Mishna, F., Regehr, K., & Slane, A. (2022). Young people's experiences of image-based sexual harassment and abuse in England and Canada: Toward a feminist framing of technologically facilitated sexual violence. In *Women's Studies International Forum*, 93, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.wsif.2022.102615>
- [19] Mori, C., Cooke, J. E., Temple, J. R., Ly, A., Lu, Y., Anderson, N., & Madigan, S. (2020). The prevalence of sexting behaviors among emerging adults: A meta-analysis. *Archives of Sexual Behavior*, 49, 1103-1119. <https://doi.org/10.1007/s10508-020-01656-4>

- [20] Mori, C., Park, J., Temple, J. R., & Madigan, S. (2022). Are youth sexting rates still on the rise? A meta-analytic update. *Journal of Adolescent Health*, 70(4), 531-539. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2021.10.026>
- [21] Powell, A., & Henry, N. (2017). Online Misogyny, Harassment and Hate Crimes. In: *Sexual Violence in a Digital Age*. Palgrave Studies in Cybercrime and Cybersecurity. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/978-1-137-58047-4_6
- [22] McGlynn, C., & Rackley, E. (2017). Beyond 'revenge porn': The continuum of image-based sexual abuse. *Feminist Legal Studies*, 25, 25-46. <https://doi.org/10.1007/s10691-017-9343-2>
- [23] Hayes, R. M., & Dragiewicz, M. (2018). Unsolicited dick pics: Erotica, exhibitionism or entitlement? In *Women's Studies International Forum*, 71, 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.wsif.2018.07.001>
- [24] Gámez-Guadix, M., & Mateos-Pérez, E. (2019). Longitudinal and reciprocal relationships between sexting, online sexual solicitations, and cyberbullying among minors. *Computers in Human Behavior*, 94, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.004>
- [25] Finkelhor, D., Turner, H., Colburn, D., Mitchell, K., & Mathews, B. (2023). Child sexual abuse images and youth produced images: The varieties of image-based sexual exploitation and abuse of children. *Child Abuse & Neglect*, 143, 106269. <https://doi.org/10.1016/j.chiabu.2023.106269>
- [26] Henry, N., & Powell, A. (2018). Technology-facilitated sexual violence: A literature review of empirical research. *Trauma, Violence, & Abuse*, 19(2), 195-208. <https://doi.org/10.1177/1524838016650189>
- [27] Powell, A., Henry, N., Flynn, A., & Scott, A. J. (2019). Image-based sexual abuse: The extent, nature, and predictors of perpetration in a community sample of Australian residents. *Computers in Human Behavior*, 92, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.11.009>
- [28] Powell, A., Scott, A. J., Flynn, A., & McCook, S. (2022). Perpetration of image-based sexual abuse: Extent, nature and correlates in a multi-country sample. *Journal of Interpersonal Violence*, 37(23-24), NP22864-NP22889. <https://doi.org/10.1177/08862605211072266>
- [29] Frankel, A. S., Bass, S. B., Patterson, F., Dai, T., & Brown, D. (2018). Sexting, risk behavior, and mental health in adolescents: An examination of 2015 pennsylvania youth risk behavior survey data. *Journal of School Health*, 88(3), 190-199. <https://doi.org/10.1111/josh.12596>
- [30] Van Ouytsel, J., Lu, Y., Ponnet, K., Walrave, M., & Temple, J. R. (2019). Longitudinal associations between sexting, cyberbullying, and bullying among adolescents: Cross-lagged panel analysis. *Journal of adolescence*, 73, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2019.03.008>

- [31] Berndtsson, K., & Odenbring, Y. (2021). They don't even think about what the girl might think about it': students' views on sexting, gender inequalities and power relations in school. *Journal of Gender Studies*, 30(1), 91-101. <https://doi.org/10.1080/09589236.2020.1825217>
- [32] Mandau, M. B. H. (2020). Homosocial positionings and ambivalent participation: A qualitative analysis of young adults' non-consensual sharing and viewing of privately produced sexual images. *MedieKultur: Journal of Media and Communication Research*, 36(67), 055-075. <https://doi.org/10.7146/mediekultur.v36i67.113976>
- [33] Oswald, F., Lopes, A., Skoda, K., Hesse, C. L., & Pedersen, C. L. (2020). I'll show you mine so you'll show me yours: Motivations and personality variables in photographic exhibitionism. *The Journal of Sex Research*, 57(5), 597-609. <https://doi.org/10.1080/00224499.2019.1639036>
- [34] Gassó, A. M., Mueller-Johnson, K., & Montiel, I. (2020). Sexting, online sexual victimization, and psychopathology correlates by sex: Depression, Anxiety, and Global Psychopathology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1018. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031018>
- [35] Idoiaga-Mondragon, N., Santamaria, M. D., Txertudi, M. B., & Saez, I. A. (2022). Image-based abuse: Debate and reflections on the "Iveco Case" in Spain on Twitter. *Journal of interpersonal violence*, 37(9-10), NP7178-NP7201. <https://doi.org/10.1177/0886260520967143>
- [36] Martínez Román, R., Lameiras Fernández, M., Adá Lameiras, A., & Rodríguez Castro, Y. (2025). Analysis of Image-Based Sexual Harassment and Abuse in Adolescents' Socio-Affective Relationships. *Journal of Interpersonal Violence*, 1-25. <https://doi.org/10.1177/08862605251315767>
- [37] Glick, P. & Fiske, S. T. (1996). The ambivalent sexism inventory: Differentiating hostile and benevolent sexism. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 491-512.
- [38] Rodríguez-Castro, Y., Lameiras, M. & Carrera, M.V. (2009). Validación de la versión reducida de las escalas ASI y AML en una muestra de estudiantes españoles. *Psicogente*, 12(22), 284-295.
- [39] Payne, D. L., Lonsway, K. A., & Fitzgerald, L. F. (1999). Rape myth acceptance: Exploration of its structure and its measurement using the Illinois Rape Myth Acceptance Scale. *Journal of Research in Personality*, 33(1), 27-68. <https://doi.org/10.1006/jrpe.1998.2238>
- [40] Pina, A., Bell, A., Griffin, K., & Vasquez, E. (2021). Image Based Sexual Abuse proclivity and victim blaming: The role of dark personality traits and moral disengagement. *Oñati Socio-Legal Series*, 11(5), 1179-1197. <https://doi.org/10.35295/osls.iisl/0000-0000-0000-1213>

- [41] Brown, C., Brown, T., & Hegarty, K. (2021). Development and validation of the Technology-Facilitated Abuse and Victimization Scale. *Journal of Interpersonal Violence*. <https://doi.org/10.1177/08862605211012345>
- [42] Kelly, L. (2013). *Surviving sexual violence*. John Wiley & Sons.
- [43] Rodríguez-Castro, Y., Alonso, P., Martínez, R., & Adá, A. (2021b). Ni On Ni OFF. Programa coeducativo de prevención de ciberacoso sexual. Aranzadi
- [44] Lameiras, M., Martínez, R., Carrera, M. V., & Rodríguez, Y. (2021). Sex education in the spotlight: what is working? Systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2555. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052555>

DIFRA: detección de infraccións en franxas de protección con drons

Lorena Otero-Cerdeira,¹ Alma Gómez-Rodríguez,¹ Francisco J. Rodríguez-Martínez,¹
Óscar Álvarez-Mociño² e Manuel Alonso-Carracedo¹

¹*Departamento de Informática, campus de Ourense, Universidade de Vigo*

²*Socio fundador e CEO de Auri Peritaciones S. L., Celanova, Ourense*

locerdeira@uvigo.gal, alma@uvigo.gal, franjrm@uvigo.gal, ing@auriaperitaciones.es, manuel.alonso.carracedo@uvigo.gal

Resumo

A inspección e a administración de franxas de protección do lume en áreas forestais supón desafíos significativos, particularmente en rexións como Galiza, onde o abandono rural e o fraccionamento da propiedade dos terreos exacerba os riscos de lume. Este traballo explora a aplicación de tecnoloxía de drons para asistir ás administracións públicas na inspección das franxas de protección antiincendios e outras áreas críticas. Ao integrar drons equipados con cámaras de alta resolución e sensores, con sistemas de información xeográfica (SIX), incluíndo algoritmia de intelixencia artificial, este estudo demostra como estas ferramentas poden mellorar a eficiencia, precisión e relación custo-efectividade en comparación cos métodos de inspección manuais empregados tradicionalmente. Neste traballo preséntase unha metodoloxía que inclúe o uso de drons de á fixa para recoller imaxes aéreas e datos espaciais, que se procesan e analizan dentro de plataformas XIS. Esta aproximación reduce o erro humano, minimiza o consumo de recursos e permite acollerse ás regulacións de prevención antiincendios. Os resultados destacan o uso potencial desta tecnoloxía para empregarse con estratexias de prevención antiincendios e outras tarefas de inspección, ofrecendo unha ferramenta escalable e sostible para o uso das empresas de enxeñaría forestal e agraria e das administracións públicas en xestión medioambiental.

Palabras clave: drons, inspección antiincendios, SIX e intelixencia artificial

1 Descrición do problema: contexto e lexislación

Durante a tempada do verán, Galicia experimenta regularmente o impacto dos incendios forestais, moitos dos cales se ven agravados pola propia estrutura territorial da rexión (uso do solo, minifundio, xestión) e o abandono rural. Nas últimas décadas, este abandono levou á colonización destas terras por especies pirófitas e matogueiras.

Co fin de previr a aparición de incendios e os danos que estes causan, a Xunta de Galicia definiu varias accións, entre elas o establecemento de diversas franxas e redes de protección, conforme o establecido na Lei 3/2007, do 9 de abril, de prevención e defensa contra os incendios forestais de Galicia [1].

En particular, o artigo 20 da Lei 3/2007, do 9 de abril, de prevención e defensa contra os incendios forestais de Galicia establece medidas para a creación e o mantemento das franxas de protección contra incendios. Estas medidas inclúen a obriga dos propietarios e propietarias forestais de manter as franxas limpas e despexadas, así como a posibilidade de que a Xunta de Galicia leve a cabo estes traballos de limpeza no caso de incumprimento. A lei tamén define os criterios técnicos para a creación destas franxas e as condicións baixo as cales se pode realizar o seu mantemento.

De maneira máis específica, este artigo establece dous tipos de franxas de protección contra incendios, ambas destinadas a reducir o risco de incendios forestais e protexer a vida humana, as propiedades e os recursos naturais.

- **Franxas de protección primaria:** estas franxas establécense arredor das vivendas, edificios, núcleos de poboación, infraestruturas e outras zonas sensibles. A súa función é crear unha barreira para evitar que os incendios se acheguen a estas áreas críticas.
- **Franxas de protección secundaria:** estas franxas créanse en zonas estratéxicas para a prevención e a contención dos incendios forestais. O seu obxectivo é interromper a propagación do lume e axudar no seu control, reducindo así o risco de expansión dos incendios e os danos que poidan causar.

1.1 *Franxas de protección secundaria*

En relación con estas franxas de protección secundaria, que son o foco principal deste traballo, defínense como franxas de 50 metros ao redor de zonas urbanas, núcleos rurais e urbanizables, así como ao redor de edificios destinados a persoas, vivendas illadas, urbanizacións, vertedoiros, cámpings, gasoleiras e parques e instalacións industriais situadas a menos de 400 metros do monte.

Entre outros beneficios, estas redes secundarias buscan previr e minimizar os danos humanos e materiais ao impedir que o lume chegue aos edificios e aos núcleos de poboación. Porén, para a correcta implementación destas medidas, a administración emprendeu a tarefa de inspeccionar os terreos afectados por estas franxas e emitir as notificacións necesarias. Ademais, existía a intención de establecer un método automático para identificar as diversas tarefas que había que realizar en cada parcela, de modo que, unha vez completado o proceso de inspección, todas as actuacións puidesen agruparse por parroquia ou por concello.

Aínda que as franxas de protección primaria, é dicir, aquelas con terreos adxacentes a autoestradas, autovías, infraestruturas ferroviarias, liñas de transporte e distribución de enerxía etc., son áreas cun desenvolvemento máis lineal e máis accesibles, que facilitan a súa inspección e control, as franxas secundarias presentan diversos desafíos:

- **Dispersión poboacional e multitude de áreas:** Galicia conta cunha gran cantidade de núcleos rurais, ao ser con moita diferenza a rexión de España con maior número de núcleos. Ademais, hai que considerar a multitude de pequenos agrupamentos de edificacións e estruturas illadas que xurdiron fóra destes núcleos.
- **Áreas de forma irregular:** o contorno dos núcleos e edificios illados formaría, en principio, unha franxa con forma de aneis concéntricos ou un anel cun burato central. Non obstante, debido á singularidade e á heteroxeneidade dos núcleos galegos, fórmanse contornos moi irregulares e pouco uniformes.
- **Predominio do minifundio:** refírese aos arredores das áreas onde existe unha alta fragmentación da terra, con predios de pequeno tamaño e unha distribución moi irregular das parcelas.
- **Dificultade para delimitar as parcelas:** o abandono existente en moitas das terras, xunto coa gran cantidade de pequenas parcelas e a ausencia de marcos e elementos de referencia que as definan, complica moito o proceso de inspección e a identificación de cales están en incumprimento. Ademais, reconsiderar os límites catastrais sobre o terreo considérase inviable, debido ao elevado número de parcelas, a condición técnica do terreo (presenza de vexetación densa que dificulta o acceso, imposibilidade de usar GPS de alta precisión por cobertura arbórea) e o custo económico (número de parcelas, necesidade de traballos previos, proceso lento).

- **Dificultade para delimitar sobre o terreo as franxas:** do mesmo xeito ca no caso anterior, establecer os límites das áreas para acondicionar (as franxas) sobre o terreo tamén é complexo, enfrontándose aos mesmos problemas mencionados. Ademais, o feito de que esta delimitación non siga límites naturais ou tradicionais engade unha dificultade adicional.
- **Dificultade de acceso:** moitas das parcelas son de difícil ou imposible acceso.

Todas estas circunstancias fan que a inspección sobre o terreo, realizada manualmente, sexa complexa e, a miúdo, suxeita a estimacións ou aproximacións. Ademais, pode ser propensa a certas inexactitudes e implicar un alto custo económico.

Debido a estas dificultades, propónse o uso de drons como ferramenta para inspeccionar e detectar incumprimentos nas franxas secundarias e mellora os traballos técnicos de enxeñaría necesarios para planificar os traballos de limpeza. O uso de drons para fins de inspección non é unha novidade e xa foi empregado noutros sectores, como se analizará na seguinte sección.

2 Uso de drons en tarefas de inspección

O uso de drons en tarefas de inspección demostrou ser unha ferramenta eficaz e versátil en diversos sectores. Os drons, tamén coñecidos como vehículos aéreos non tripulados (UAV), ofrecen a capacidade de inspeccionar visualmente grandes áreas de maneira rápida e precisa. Isto é especialmente útil en situacións onde o acceso é difícil ou perigoso para os seres humanos.

No contexto da prevención de incendios forestais, os drons poden utilizarse para inspeccionar zonas arboradas e identificar potenciais riscos, como a acumulación de vexetación seca ou a presenza de actividades humanas que poidan provocar lumes. Os drons equipados con cámaras de alta resolución, sensores térmicos e tecnoloxía de cartografía poden proporcionar datos detallados que axudan os equipos de xestión forestal a tomar decisións informadas sobre a prevención e o control dos incendios.

Ademais da prevención de incendios forestais, os drons úsanse en múltiples industrias para a inspección de infraestruturas, o seguimento agrícola, a cartografía, a topografía, a inspección de edificacións e moitos outros ámbitos. A súa capacidade para capturar imaxes e datos desde diferentes ángulos e altitudes convérteos nunha ferramenta valiosa para a recolección de información e a toma de decisións en tempo real.

Porén, o uso de drons tamén presenta desafíos, como a regulación da súa operatividade, as preocupacións sobre a privacidade e a seguridade dos datos recollidos. É importante tratar adecuadamente estes desafíos para garantir un uso responsable e ético desta tecnoloxía emerxente.

2.1 Drons en inspección de edificacións e estruturas

Os drons xogan un papel significativo na prestación de servizos civís en diversos ámbitos. Máis especificamente, en [2] os autores enfatizan o crecente interese na utilización dos UAV para a construción e a inspección de infraestruturas, un sector que representa aproximadamente o 45 % do valor total do mercado dos UAV. Destacan algúns dos principais ámbitos de aplicación dos UAV na inspección de infraestruturas, como o seguimento en tempo real de obras en construción, a inspección de liñas de transmisión de alta tensión e a vixilancia de diversas instalacións e infraestruturas, como oleodutos, gasodutos e redes de abastecemento de auga.

Outros campos nos que os drons se poden empregar para a inspección de infraestruturas están recollidos en [3] e inclúen áreas como a inspección de pontes, a avaliación xeotécnica, a medición de movementos de terra e a xestión de desastres.

2.2 Drons en inspección da agricultura

Os drons convertéronse en ferramentas valiosas para a inspección agrícola, xa que lles proporcionan aos agricultores e agricultoras unha solución rendible e eficiente para supervisar os cultivos, avaliar as condicións do terreo e optimizar as prácticas agrícolas. Equipados con cámaras de alta resolución e sensores avanzados, os drons poden recoller autonomamente datos detallados sobre os cultivos, que lles permite aos agricultores e agricultoras identificar problemas como estrés hídrico, enfermidades e pragas, así como avaliar o estado xeral das plantas. Ademais, poden xerar mapas detallados con atributos topográficos esenciais e medicións do terreo. Isto facilita a toma de decisións informadas para maximizar o rendemento dos cultivos e crear o mellor ambiente posible para o seu desenvolvemento.

O uso de drons na agricultura tornouse cada vez máis común, cun mercado en constante crecemento e aplicacións diversas en explotacións de todas as escalas. Foron empregados eficazmente en áreas como o seguimento da saúde dos cultivos, a agricultura de precisión, a detección de pragas e enfermidades, a estimación do

rendemento, a xestión da auga, o control do gando e a identificación de malas herbas [4], [5], [6], [7], [8].

2.4 Drons en inspección medioambiental

Os drons tamén se utilizan para a inspección ambiental, proporcionando ferramentas valiosas para a monitorización, avaliación e esforzos de conservación. Ofrecen un punto de vista único, que permiten a supervisión de grandes áreas nun curto período de tempo. Isto faíños especialmente eficaces para estudos ambientais e seguimento de ecosistemas.

Equipados con sensores especializados, os drons poden identificar e rastrexar contaminantes como verteduras de petróleo, residuos plásticos e floracións de algas nocivas, así como supervisar vertedoiros, que axudan na avaliación da contaminación e na formulación de estratexias de resposta eficaces. Ademais, utilízanse para o control da calidade do aire e da auga en áreas urbanas, o que facilita a identificación de fontes de contaminación e contribúe á protección da saúde pública.

Adicionalmente, os drons poden empregarse para o seguimento da erosión costeira, estudos de biodiversidade, cartografía e planificación do uso do solo, así como para rastrexar a fauna salvaxe [4], [9], [10], [11], [12].

2.5 Drons en inspección da propiedade

O uso de drons na inspección inmobiliaria emerxeu como un enfoque transformador e altamente eficiente no sector da propiedade. Están equipados con cámaras de alta resolución e estabilizadores, o que permite obter imaxes fluídas e detalladas. Os drons poden utilizarse para inspeccionar propiedades en busca de problemas como fugas, deficiencias no illamento e danos estruturais, o que proporciona unha perspectiva única sobre áreas de difícil acceso.

Ademais, poden estar equipados con cámaras de imaxe térmica, higrómetros e outros sensores para realizar inspeccións especializadas, como a identificación de fontes de calor e a detección de fugas en sistemas HVAC. Os drons tamén desempeñan un papel importante na mercadotecnia inmobiliaria, xa que permiten capturar impresionantes imaxes aéreas e ofrecer fotografías de alta resolución, diferenciando os negocios e mellorando a presentación dos informes de inspección.

Aínda que os drons non son unha fonte principal de ingresos, constitúen ferramentas valiosas para tratar tanto as necesidades técnicas coma as estratexias de mercadotecnia na industria da inspección inmobiliaria [13], [14], [15].

2.5 Drons en inspección forestal

Os drons empregáronse na xestión forestal para realizar diversas tarefas. Os principais usos dos UAV no sector forestal inclúen a cartografía de bosques, a planificación da xestión forestal, a creación de modelos de altura do dosel, a detección de claros no bosque, a estimación do volume de biomasa e da área basal, o recento de árbores e a detección de alteracións forestais.

Os UAV permiten unha implementación rápida en diversas situacións que xorden na xestión sostible dos montes [16]. Grazas á súa capacidade para proporcionar datos en tempo real, os drons convertéronse nunha ferramenta imprescindible para a protección e a xestión sostible dos recursos forestais.

2.6 Retos do uso de drons

O uso de drons vai acompañado de varios desafíos que se deben tratar para a súa integración efectiva en diversas industrias. Aínda que os drons ofrecen un gran potencial para revolucionar múltiples ámbitos de inspección, tamén se enfrontan a varios retos.

2.6.1 Retos técnicos

- **Tempo de voo e alcance limitados:** as actuais baterías dos drons restrinxen o tempo de voo e o alcance, limitando a área que pode ser inspeccionada nunha soa misión [17], [18], [19]. Ademais, o tipo de dron e a súa eficiencia enerxética representan un papel fundamental na determinación do seu alcance, con modelos especializados de longo alcance en desenvolvemento para fins profesionais como fotografía aérea e topografía. O tempo de voo dos drons está principalmente restrinxido pola capacidade das súas baterías, e os drons de consumo son os que ofrecen, en media, entre 20 e 30 minutos de autonomía. Aínda que os avances tecnolóxicos recentes permitiron ampliar as distancias de voo, seguen existindo desafíos relacionados coa duración da batería e o alcance.
- **Dependencia das condicións meteorolóxicas:** as condicións meteorolóxicas adversas, como ventos fortes, precipitacións e temperaturas extremas, poden

afectar negativamente á resistencia, ao control e á seguridade dos drons, limitando a súa operatividade e comprometendo a calidade dos datos recollidos [17], [20] [21].

- **Limitacións dos sensores:** os drons están equipados con diversos sensores que lles permiten recoller datos para distintas aplicacións. Porén, estes sensores presentan certas limitacións que poden afectar á súa eficacia en escenarios específicos. A resolución e a precisión dos sensores poden non ser suficientes para inspeccións detalladas en todos os casos [5]. Ademais, os drons teñen unha capacidade de carga útil restrinxida, polo que engadir sensores máis pesados ou voluminosos pode reducir o tempo de voo e afectar á súa estabilidade. O uso de sensores de maior tamaño ou peso tamén pode influír na aerodinámica e no control do dron.

2.6.2 Retos normativos e lexislativos

- **Regulación do control do tráfico aéreo:** a integración dos drons no espazo aéreo compartido con aeronaves tripuladas presenta importantes obstáculos en termos de seguridade e regulación. Entre estes desafíos atópanse a conxestión do espazo aéreo, os riscos de colisión, a complexidade operativa, os problemas de comunicación e control, as preocupacións sobre vixilancia e a necesidade de normativas e tecnoloxías robustas. A presenza de drons, xunto con aeronaves tripuladas, aumenta a probabilidade de conflitos, especialmente en espazos aéreos densamente poboados, como os situados preto dos aeroportos [17].
- **Preocupacións sobre a privacidade:** a recollida de datos mediante drons pode xerar preocupacións sobre a privacidade, facendo necesarias regulacións claras e consideracións éticas. Historicamente, a regulación dos drons centrábase na seguridade, pero hai unha crecente necesidade de tratar os aspectos relacionados coa privacidade. As capacidades avanzadas das tecnoloxías baseadas en drons suscitan cuestións sobre a lexislación en materia de privacidade e protección de datos. Os drons teñen o potencial de capturar datos persoais, polo que o seu uso debe cumprir principios como a legalidade, a equidade, a transparencia, a limitación da finalidade e a seguridade da información para protexer a privacidade das persoas [18].
- **Seguridade dos datos:** a seguridade dos datos nos drons é unha consideración crítica, dado o seu papel como dispositivos de captura de información. Os drons

son vulnerables a ameazas de ciberseguridade, como pirataría informática, accesos non autorizados e interceptación de datos. Se actores maliciosos conseguen acceder aos sistemas dun dron, poden interceptar datos en tempo real ou acceder á información almacenada, o que supón riscos tanto para a privacidade coma para a seguridade [20], [22].

2.6.3 Retos operacionais

- **Custo do equipamento e da formación:** a adquisición de drons e sensores especializados implica un investimento inicial significativo. Os drons de alta calidade con características avanzadas poden ser caros, especialmente os deseñados para aplicacións específicas como fotografía aérea, topografía ou inspeccións industriais. Ademais, os sensores especializados e as cargas útiles adaptadas a tarefas concretas aumentan aínda máis o custo inicial. O prezo dos sensores varía en función da súa complexidade, precisión e capacidades. Sensores avanzados, como LiDAR, cámaras térmicas, cámaras multiespectrais e detectores de gases poden ter un custo elevado tanto na compra como no mantemento. A integración destes sensores nos sistemas de drons require investimentos adicionais en hardware, software e probas de compatibilidade [17], [18]. Ao mesmo tempo, o persoal debe estar adecuadamente formado para garantir operacións seguras e eficientes cos drons. O investimento en cursos de formación, certificacións e educación continua para os operadores de drons engade custos adicionais ás operacións. Igualmente importantes son os custos asociados á obtención dos permisos necesarios, licenzas e coberturas de seguro, incluíndo tarefas administrativas e os esforzos continuos para cumprir coa normativa vixente.
- **Integración cos fluxos de traballo existentes:** a integración dos datos recollidos por drons en programas xa establecidos non é un proceso inmediato nin automático. Para aproveitar plenamente esta tecnoloxía, é necesario reavaliar os fluxos de traballo existentes, fortalecer os sistemas de xestión de datos para procesar o gran volume de imaxes aéreas e proporcionarlle formación especializada ao persoal na análise e na interpretación de datos específicos dos drons. Esta integración non só implica desafíos técnicos, senón tamén un cambio cultural dentro das organizacións para adoptar plenamente esta nova tecnoloxía, promovendo a colaboración entre pilotos de drons, analistas de datos e persoal

de mantemento. Ademais, as organizacións deben implementar sistemas robustos de xestión de datos para almacenar, procesar e analizar eficientemente a información, tratando aspectos como a capacidade de almacenamento, a seguridade dos datos e a garantía de calidade da información [20], [5].

3 Proposta metodolóxica para o uso de drons en labores de inspección forestal

Esta sección ofrece unha descrición detallada da nova metodoloxía desenvolvida para o uso de drons en tarefas de inspección en zonas forestais. O obxectivo principal é identificar infraccións dentro das franxas secundarias, tratando ao mesmo tempo as características ambientais específicas e o marco legislativo aplicable en Galicia. A metodoloxía foi deseñada para garantir o cumprimento das normativas rexionais e adaptarse ás particularidades da zona, o que permite un enfoque máis eficiente e preciso na vixilancia e na aplicación da normativa.

A metodoloxía integra a adquisición de datos xeoespaciais, o seu procesamento e a verificación en campo como pasos interconectados para avaliar sistematicamente a xestión da biomasa e identificar as limitacións que afectan ás parcelas estudadas. Este enfoque estruturado garante unha análise completa e uns resultados fiables. Ademais, incorpora ferramentas avanzadas de sistemas de información xeográfica (SIX) e datos xeoespaciais para asegurar a precisión espacial e o cumprimento do marco normativo.

O diagrama da figura 1 ilustra a metodoloxía proposta. Cada paso descríbese en detalle nas seccións seguintes.

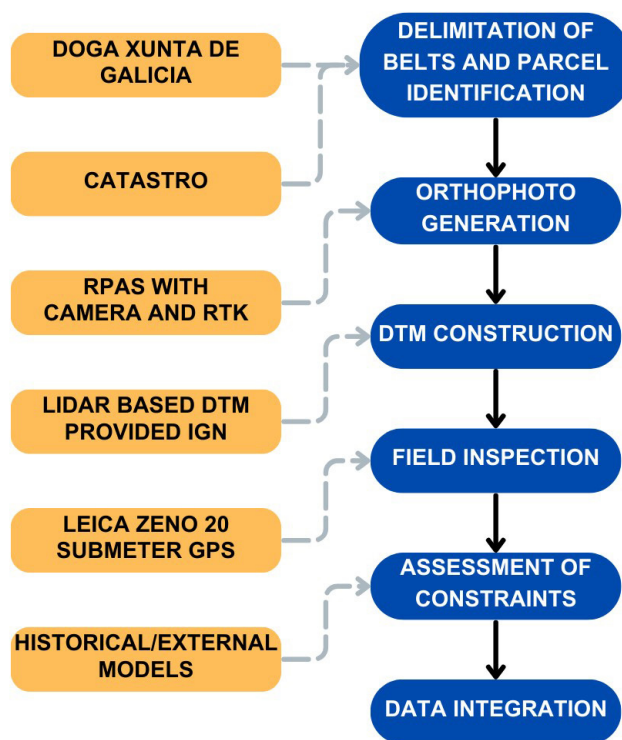


Figura 1. Diagrama que mostra as diferentes seccións e o fluxo da metodoloxía

3.1 Delimitación das franxas de protección e identificación das parcelas

Este paso céntrase na definición dos límites das franxas de protección, fundamentais para analizar con precisión a área de interese. O proceso aproveita datos xeoespaciais fornecidos pola administración pública local en formato SHP¹ e sistemas catastrais para garantir unha delimitación precisa e fiable. As franxas de protección estudadas foron xeorreferenciadas para asegurar unha localización espacial exacta.

O proceso consta das seguintes etapas:

1. **Superposición das franxas de protección sobre mapas catastrais:** as franxas de protección identificadas superpóñense sobre mapas catastrais para segmentalas en unidades manexables. Esta integración proporciona unha capa completa de

¹ Os arquivos SHP conteñen datos xeométricos como un conxunto de coordenadas vectoriais.

información espacial, incluíndo os límites das propiedades, os datos de titularidade e o uso do solo, o que facilita pasos posteriores como a xeración de ortofotos e a inspección en campo.

2. **Segmentación en parcelas e predios:** a través deste proceso de superposición, cada franxa divídese en parcelas ou predios específicos. Inclúese toda a información catastral e espacial relevante, e engádense novos campos ao conxunto de datos para rexistrar os resultados das inspeccións e as limitacións identificadas durante a análise. Esta segmentación produce un mapa estruturado de parcelas que serve como base para operacións posteriores.
3. **Xeración de resultados:** o resultado final é unha capa detallada e xeorreferenciada que contén todas as parcelas, franxas e metadatos relevantes. Esta capa é esencial para integrar datos xeoespaciais adicionais e información da inspección nos seguintes pasos.

3.2 Xeración da ortofoto

Esta etapa da metodoloxía céntrase na adquisición de imaxes de alta resolución. O proceso consta dos seguintes pasos:

1. **Adquisición de imaxes:** os drones equipados con cámaras de alta definición e sistemas de posicionamento en tempo real (RTK) capturan imaxes aéreas de alta resolución con precisión subcentimétrica. Estas imaxes recóllense seguindo plans de voo predefinidos, deseñados para garantir unha cobertura completa da área de interese.
4. **Procesamento de imaxes:** as imaxes recollidas son procesadas mediante software de fotogrametría para xerar ortofotos. As ortofotos proporcionan unha visualización detallada e precisa das áreas inspeccionadas, o que permite identificar características e limitacións que poderían non ser evidentes noutras fontes de datos. As variacións na cobertura vexetal, os problemas de accesibilidade e as irregularidades nos límites das parcelas poden observarse con claridade.
1. **Superposición de ortofotos sobre mapas de parcelas:** as ortofotos superpóñense aos mapas de parcelas creados na fase anterior. Este paso mellora a representación espacial da área, que permite unha avaliación detallada de aspectos como a densidade da biomasa, os límites das parcelas e as características da vexetación.

3.3 Construción do DTM (modelo dixital do terreo)

Debido á presenza de vexetación densa en moitas parcelas, a medición directa da elevación do terreo pode non ser viable. Para tratar esta limitación, xérase un modelo dixital do terreo (MDT) utilizando datos LiDAR fornecidos polo Instituto Xeográfico Nacional (2.^a cobertura).

Un modelo dixital do terreo (MDT) é unha representación xeoespacial da superficie do chan sen a cobertura vexetal nin elementos artificiais, creado neste caso mediante o procesamento de datos LiDAR. O proceso implica a adquisición dunha nube de puntos densa a través de LiDAR, onde os impulsos láser capturan datos de elevación medindo o tempo que tardan os sinais en regresar desde a superficie. A nube de puntos en bruto é posteriormente clasificada para illar os puntos correspondentes ao terreo das características non pertencentes ao chan, como vexetación e edificios.

Ao empregar técnicas de interpolación, como redes irregulares trianguladas (TIN) ou *rasterización*, estes puntos do terreo convértense nun modelo continuo de elevación. O MDT afínase aínda máis mediante correccións de erros e procesos de suavización para garantir a súa precisión. Este modelo, representado en formato *ráster* ou TIN, proporciona unha base de alta resolución para aplicacións como a análise de pendentes, a modelización hidrolóxica e a avaliación da accesibilidade do terreo.

3.4 Inspección das parcelas

Con toda a información obtida por parte do dron e os sistemas adicionais empregados, faise unha primeira análise de inspección de parcelas cun preprocesamento mediante algoritmia de intelixencia artificial. Fixéronse probas con diferentes algoritmos empregando principalmente algoritmos de aprendizaxe supervisada que, coa axuda en gabinete da persoa enxeñeira ao cargo, fose axustando os diferentes parámetros e resultados da inspección. Tras esta fase de inspección asistida en gabinete, requírese unha inspección de campo para cuestións específicas puntuais que non é posible concretar a distancia. Esta fase de inspección en campo é un paso fundamental para validar os datos xeoespaciais e resolver as ambigüidades identificadas durante a análise das imaxes aéreas e dos modelos dixitais do terreo (MDT). Esta fase garante a precisión e a fiabilidade dos resultados mediante a verificación in situ.

A accesibilidade de cada parcela xa foi avaliada previamente polos algoritmos do sistema, de forma que xa se determinaba se a maquinaria podía chegar eficazmente á zona para tarefas de mantemento ou intervención. Isto incluíu a identificación de puntos de entrada, camiños e posibles obstáculos, como pendentes pronunciadas ou vexetación densa que si requiren nalgún caso a validación no terreo.

Polo tanto, só as parcelas cun diagnóstico incerto, segundo a análise das imaxes aéreas e do MDT, son priorizadas para as inspeccións en campo. Este proceso inclúe a verificación de limitacións como a presenza de especies pirófitas ou o cumprimento incompleto das normativas de prevención de incendios.

3.5 Avaliación de restricións

Esta etapa integra capas de datos adicionais para identificar posibles limitacións ou restricións que poidan afectar ás tarefas operativas. Este paso garante o cumprimento dos marcos legais, ambientais e operativos, ao mesmo tempo que destaca as áreas que requiren especial atención ou intervencións. O proceso consta dos seguintes compoñentes clave:

1. **Identificación de restricións legais:** empregando datos catastrais e a lexislación relevante, este paso identifica áreas con restricións legais específicas, como zonas protexidas, disputas de propiedade ou áreas que requiren permisos administrativos para intervencións. Estas restricións son cruzadas cos datos xeoespaciais para garantir unha identificación precisa.
2. **Consideracións ambientais:** a análise incorpora factores ambientais como a densidade da vexetación, a presenza de especies pirófitas e a proximidade a recursos naturais. Estes elementos son avaliados para priorizar as áreas que supoñen un maior risco de propagación do lume ou alteración ecolóxica.
3. **Restricións arqueolóxicas e culturais:** en rexións como Galicia, onde abundan espazos históricos e culturais, este paso inclúe a verificación de se algunhas parcelas se solapan con zonas arqueolóxicas protexidas ou áreas de relevancia cultural.
4. **Desafíos de accesibilidade:** os datos recollidos a partir do modelo dixital do terreo (MDT) e das inspeccións en campo utilízanse para avaliar a accesibilidade do terreo. As pendentes pronunciadas, a vexetación densa ou a ausencia de puntos de entrada documéntanse como restricións que poderían dificultar as operacións.

3.6 Integración de datos

Esta última fase consolida todos os datos recollidos e procesados nun marco xeoespacial unificado para facilitar unha análise integral e a toma de decisións. Este paso garante que a información de todas as fases anteriores se harmonice para un uso eficiente. O proceso inclúe as seguintes etapas:

1. **Consolidación de datos xeoespaciais:** todas as capas xeradas nos pasos anteriores, incluíndo mapas catastrais de parcelas, ortofotos e MDT, intégranse nun sistema de información xeográfica (SIX). Isto permite unha visualización fluída e a superposición de información espacial para identificar padróns, relacións e áreas que requiren intervención.
2. **Incorporación dos resultados das inspeccións en campo:** os datos recollidos durante as inspeccións en campo, incluíndo xeolocalizacións con GPS, avaliacións de accesibilidade e comprobacións de cumprimento normativo, engádense á base de datos xeoespacial. Cada parcela enriquecese con atributos como características da pendente, tipo de vexetación e limitacións identificadas.
3. **Integración das avaliacións de restricións:** os resultados da fase de avaliación de restricións, incluíndo limitacións legais, ambientais e operativas, incorpóranse ao conxunto de datos. Isto garante que as parcelas estean etiquetadas con atributos relevantes, o que permite priorizar intervencións e asignar recursos de maneira eficaz.
4. **Integración de datos históricos:** sempre que estean dispoñibles, intégranse datos históricos no sistema para proporcionar un contexto temporal. Isto permite a análise de tendencias, que facilita a identificación de problemas recorrentes, o seguimento do cumprimento normativo ao longo do tempo e a anticipación de posibles desafíos.
5. **Optimización da base de datos:** os datos consolidados estrutúranse e optimízanse para mellorar a eficiencia das consultas. As táboas de atributos organízanse para facilitar a xeración de informes e os modelos necesarios para a planificación operativa e a toma de decisións.

4 Discusión

Un aspecto crítico que cómpre tratar é o tempo necesario para realizar estas inspeccións, xa que inflúe directamente na eficiencia e na viabilidade do proceso. A adopción da metodoloxía proposta baseada no uso de drons permite mellorar significativamente a optimización da carga de traballo e reducir o tempo dedicado polo persoal. A táboa 1 presenta unha planificación detallada da distribución temporal das distintas tarefas que teñen que realizar os membros do equipo, o que proporciona unha visión completa sobre o uso dos recursos e os beneficios en termos de eficiencia.

Táboa 1. Tempo dedicado ás tarefas utilizando a metodoloxía baseada en drons

Tarefa	Persoal	Tempo
Traballo de campo	Piloto	3-4 días
Traballo de SIX	Enxeñeiro/a informático	1 día
Tarefas de inspección (dúas persoas)	Enxeñeiro/a agrónomo, enxeñeiro/a forestal	3 días

Por outra banda, no caso dunha inspección manual, estímase que, no mellor dos casos, se poderían cubrir aproximadamente 200 parcelas por persoa ao día para estas mesmas zonas que no caso da inspección con drons. Isto traduciríase en arredor de 25 días para unha persoa ou 13 días para dúas persoas traballando simultaneamente. Estas cifras asumen o uso de equipamento básico, como un dispositivo GPS portátil, que permite o seguimento da localización e a introdución mínima de datos no campo, ademais da xeorreferenciación de fotografías. Porén, mesmo con estas ferramentas, o enfoque manual presenta limitacións significativas. Unha vez completada a inspección en campo, os datos recollidos terían que ser organizados e procesados, engadindo tempo e esforzo a un proceso xa de por si intensivo en man de obra.

Ademais, a inspección manual está inherentemente limitada en termos de recollida de datos. Non sería viable obter toda a información necesaria para o alcance deste proxecto. Por exemplo, documentar manualmente 200 parcelas por persoa e, ao mesmo tempo, rexistrar o estado de cumprimento, observacións, razóns de incumprimento e tomar fotografías xeorreferenciadas das parcelas para documentar posibles infraccións, sería impracticable, se non imposible, dentro do tempo e os recursos dispoñibles.

En contraste, o sistema baseado en drons proposto ofrece vantaxes significativas en eficiencia e escalabilidade. A medida que aumenta a área para inspeccionar ou o número de parcelas, o tempo medio e os custos asociados ao uso de drons diminúen debido á súa capacidade para cubrir grandes áreas de forma rápida e precisa. O sistema de drons automatiza a recollida e a xeorreferenciación dos datos, o que garante consistencia e exhaustividade, ao tempo que minimiza os erros humanos. Ademais, o procesamento en tempo real ou case en tempo real dos datos recollidos reduce o tempo necesario para a análise e a organización postinspección.

Isto contrasta fortemente co enfoque manual, onde o incremento da área de inspección ou do número de parcelas leva a un aumento proporcional do tempo e dos custos. As ineficiencias do proceso manual fanse cada vez máis evidentes a medida que aumenta o alcance da inspección, facendo que sexa menos viable para aplicacións a grande escala. Deste xeito, o sistema baseado en drons non só proporciona unha solución máis eficiente e rendible, senón que tamén permite unha maior precisión e completude dos datos, e convérteo nunha alternativa superior para os requisitos de inspección modernos.

5 Conclusións

Este artigo presentou unha análise exhaustiva do uso de drons como unha ferramenta innovadora para axudar as empresas de enxeñaría e administracións públicas nas tarefas de inspección, especialmente no contexto da prevención de incendios forestais en Galicia. O estudo centrouse na implementación de drons para a inspección das franxas de protección contra incendios, avaliando a súa eficiencia, precisión e rendibilidade en comparación cos métodos manuais tradicionais. O traballo destacou como os drons, equipados con cámaras de alta resolución e integrados con sistemas de información xeográfica (SIX), poden proporcionar datos detallados e útiles para os procesos de toma de decisións, os cales poden ser amplificados e procesados por algoritmos de intelixencia artificial.

A integración dos SIX permite o procesamento eficiente e a visualización dos datos recollidos polos drons, incluíndo información sobre a altura da vexetación, a accesibilidade do terreo e a presenza de especies propensas ao lume. Este enfoque non só optimiza o proceso de inspección, senón que tamén facilita a xeración de informes completos que poden utilizarse para orientar intervencións, asignar recursos e garantir o cumprimento da normativa. Ao superpoñer mapas catastrais e os límites

das franxas de protección, os drons permiten identificar con precisión as áreas que requiren mantemento, tarefa que sería complexa e laboriosa cos métodos tradicionais.

As imaxes de alta resolución e os datos en tempo real proporcionados polos drons permiten avaliacións máis precisas das franxas de protección contra incendios, reducindo o erro humano e mellorando a eficacia global. Isto é especialmente valioso en rexións como Galicia, onde o minifundismo e o abandono rural supoñen retos para a xestión forestal eficiente.

A conclusión principal deste estudo é que os drons poden empregarse de maneira efectiva para a inspección das franxas de protección contra incendios, proporcionando unha solución fiable e escalable para mitigar os riscos asociados aos incendios forestais. A súa capacidade para identificar rapidamente as áreas que requiren intervención, combinada coa súa integración nos fluxos de traballo dos SIX e a algoritmia de intelixencia artificial, representa un avance significativo nas estratexias de prevención de incendios forestais. Mediante o aproveitamento da tecnoloxía dos drons, as administracións públicas poden optimizar os seus esforzos de inspección, reducir custos operativos e mellorar a protección dos recursos naturais, da vida humana e das infraestruturas.

6 Referencias

- [1] BOE. Ley 3/2007, de 9 de abril, de Prevención y Defensa contra los Incendios Forestales de Galicia. In Boletín Oficial del Estado; <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2007/04/09/3/con>, (Accedido 28/01/2024).
- [2] Shakhathreh, H.; Sawalmeh, A.; Al-Fuqaha, A.; Dou, Z.; Almaitta, E.; Khalil, I.; Othman, N.; Khreishah, A.; Guizani, M. Unmanned 530 Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. IEEE Access 2019, 7, 48572 – 48634. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>.
- [3] Molina, A.A.; Huang, Y.; Jiang, Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016;2021. Standards 2023, 3, 95–109. <https://doi.org/10.3390/standards3020009>.
- [4] Anderson, K.; Gaston, K.J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. Frontiers in Ecology and the Environment 2013. <https://doi.org/10.1890/120150>.
- [5] Autelitano, K.; Bolognini, M.; Angelis, E.D.; Fagiano, L.; Scaioni, M. On the use of drones for vision-based digitalization, diagnostics and energy efficiency assessment of buildings. Science and Technology for the Built Environment 2023, 29, 985–997. <https://doi.org/10.1080/23744731.2023.2261807>.

- [6] Torres-Sánchez, J.; López-Granados, F.; Borra-Serrano, I.; Peña-Barragán, J.M. Assessing UAV-collected image overlap influence on computation time and digital surface model accuracy in olive orchards. *Precision Agriculture* 2018, 19, 115–133. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9502-0>.
- [7] Janse, P.; Deshmukh, R.; Kayte, J.; Randive, P., Estimation of Crop Chlorophyll Content by Spectral Indices Using Hyperspectral Non-imaging Data. In *Recent Trends in Image Processing and Pattern Recognition*; MDPI, 2019; pp. 363–371. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9187-3_32.
- [8] JOUAV. Agriculture Drones. Farming Drones for Crop Monitoring. <https://www.jouav.com/blog/agriculture-drone.html>, 08/12/2023.
- [9] Colomina, I.; Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2014, 92, 79–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>.
- [10] Hodgson, J.; Mott, R.; Baylis, S.; Pham, T.; Wotherspoon, S.; Kilpatrick, A.; Raja Segaran, R.; Reid, I.; Terauds, A.; Koh, L. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* 2018, 9. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12974>.
- [11] Pettorelli, N.; Laurance, W.F.; O'Brien, T.G.; Wegmann, M.; Nagendra, H.; Turner, W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology* 2014, 51, 839–848, [<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/132664.12261>]. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>.
- [12] Sharma, M.; Nagaraja, H. Comparison of Agricultural Drones and Challenges in Implementation: A Review. 11 2021, pp. 26–30. <https://doi.org/10.1109/ICSC53193.2021.9673491>.
- [13] Industries, A. Drones in Real Estate: Enhancing Property Marketing and Inspections. <https://alphaswift.com/blog/drones-in-real-estate-enhancing-property-marketing-and-inspections>, 06/04/2023.
- [14] Jaynes, S. Using drones for home inspections: Should you? <https://www.inspectorproinsurance.com/business/using-drones-for-inspections-should-you/>, 27/11/2023.
- [15] Roe, A. Using Drones for Home Inspections. <https://www.ahit.com/home-inspection-career-guide/using-drones-for-home-inspections/>, 29/03/2023.
- [16] Banu, T.P.; Borlea, G.F.; Banu, C. The use of drones in forestry. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 2016, 5. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2016.11.007>.
- [17] Administration, F.A. Drones. In *United States Department of Transportation*; <https://www.faa.gov/uas>, (Last Accessed 04/02/2024).
- [18] ZAINUDIN, A.Z.B. Application Of Drone In Visual Inspection For Construction Project. PhD thesis, University Malaysia Pahang, 2015.

- [19] Onososen, A.O.; Musonda, I.; Onatayo, D.; Tjebane, M.M.; Saka, A.B.; Fagbenro, R.K. Impediments to Construction Site Digitalisation Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Drones* 2023, 7. <https://doi.org/10.3390/drones7010045>.
- [20] Han, L.; Seong-Cheol, L.; Woosung, B.; Jeongyun, K.; Suyoung, S. Towards UAVs in Construction: Advancements, Challenges, and Future Directions for Monitoring and Inspection. *Drones* 2023, 7. <https://doi.org/10.3390/drones7030202>.
- [21] Zhang, B.; Tang, L.; Roemer, M. Probabilistic Weather Forecasting Analysis for Unmanned Aerial Vehicle Path Planning. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* 2014, 37, 309–312. <https://doi.org/10.2514/1.61651>.
- [22] Group, L.I. Drones and privacy: data protection risks. <https://legalitgroup.com/en/drones-and-privacy-data-protection-risks/>, 08/02/2024

Obtención de compostos fenólicos de follas de vide (*Vitis vinifera* L.) da provincia de Ourense coa extracción líquida presurizada (ELP)

Antía Torres,¹ Agata Pane,¹ María G. Martí,¹ Ricardo J. Bendaña-Jácome,² Concepción Pérez-Lamela,¹ Jesus Simal-Gandara,¹ e Paz Otero¹

¹*Departamento de Química Analítica e Alimentaria, Facultade de Ciencias, campus de Ourense, Universidade de Vigo*

²*Departamento de Enxeñaría dos Materiais, Mecánica Aplicada e Construción, Facultade de Ciencias, campus de Ourense, Universidade de Vigo*

antia.torres.garcia@uvigo.es, agatapane01@outlook.it, maria.garcia.marti@uvigo.es, ricardobjb@uvigo.es, conchipl@uvigo.es, jsimal@uvigo.es, paz.otero@uvigo.es

Resumo

O sector agroalimentario contribúe de xeito significativo á economía global, aínda que presenta certas desvantaxes, como é o caso da xeración de grandes cantidades de subprodutos, o que pode contribuír, entre outras cousas, ao cambio climático. Unha das solucións previstas para frear estes efectos é a revalorización destes subprodutos mediante a recuperación dos seus compostos bioactivos. Un dos cultivos que máis contribúe á acumulación destes subprodutos é o cultivo da vide. Seguindo esta liña de investigación, o obxectivo principal deste estudo foi explorar a extracción de polifenois de follas de vide (*Vitis vinifera* L.) da comarca de Ourense, especificamente da variedade mencía, utilizando a extracción líquida presurizada (ELP). Para isto, creáronse seis métodos de extracción, con variacións dos factores clave para estas extraccións, como é o caso da temperatura (60 °C, 120 °C, 180 °C) e do tempo (10 e

20 minutos). O contido total de fenois (TPC, polas súas siglas en inglés) e a actividade antioxidante dos extractos analizados amosaron que os valores máis altos se obteñen utilizando as temperaturas máis altas. Na cuantificación dos compostos fenólicos observouse que destacaban a concentración dos compostos como quercetina e rutina, mentres que outros como a luteolina e o resveratrol se obtiveron en concentracións moi baixas. Ademais, observouse que os solventes eutécticos profundos (DES) tiñan un rendemento comparable e, nalgúns casos, superior en relación co solvente tradicional EtOH:H₂O. En conclusión, os DES son unha alternativa eficiente para extraer compostos valiosos dos subprodutos agroalimentarios, con aplicacións potenciais debido ás súas diversas propiedades.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, extracción líquida presurizada (ELP) e solventes eutécticos profundos (DES)

1 Introducción

1.1 Subprodutos agroalimentarios e preocupación sobre a sostibilidade

O sector industrial agroalimentario é un dos principais contribuíntes á economía global, que xera emprego, promove o desenvolvemento local e unha ampla variedade de produtos esenciais. Con todo, este sector tamén é responsable da produción de grandes cantidades de residuos e subprodutos, o que contribúe á explotación insostible dos recursos naturais ou ao cambio climático, entre outros [1]. Por iso, é crucial implantar estratexias que minimicen a xeración de residuos e aproveiten os subprodutos para producir compostos de valor engadido. Neste contexto, o concepto de «economía circular» situouse como un enfoque clave, xa que o seu principal obxectivo é conseguir unha produción e consumo sostibles dos recursos, reducindo o impacto ambiental da industria, minimizando a emisión de gases de efecto invernadoiro e promovendo unha xestión eficiente dos residuos alimentarios [2].

A recuperación sostible de compostos bioactivos a partir de recursos valiosos procedentes de residuos e subprodutos da industria alimentaria ten unha importancia primordial no escenario global actual. Diversos estudos demostraron que estes subprodutos contiñan diferentes metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes, antimicrobianas e antiinflamatorias, entre outras. Así, convertéronse en produtos de altos valor engadido en diversos sectores, como a alimentación ou os produtos farmacéuticos [3]. A elección de procesos e de técnicas axeitados e viables

para valorar os subprodutos é fundamental en termos de sostibilidade, ademais de estandarizar o modo de operación para minimizar os residuos xerados ao longo de toda a liña de procesamento. Estes obxectivos poden lograrse mediante o enfoque da química verde [4]. En canto aos procesos químicos, as técnicas de extracción baseadas en disolventes verdes, como auga, etanol, glicerol e líquidos iónicos, popularizáronse no marco da investigación actual debido á súa menor toxicidade e menor impacto ambiental en comparación cos disolventes orgánicos convencionais [5]. Cando se emprega unha tecnoloxía de procesamento ou extracción, é necesario considerar varios factores, tales como o consumo de enerxía ou os aspectos de seguridade e saúde, entre outros.

Entre estas técnicas, a extracción con líquidos presurizados (ELP) destacou como unha alternativa eficiente e ecolóxica para revalorizar diferentes subprodutos agroindustriais.

1.1.1 *Vitis vinifera* (uva)

Vitis vinifera L. é unha especie de vide común que pertence ao xénero *Vitis* dentro da familia *Vitaceae*. É un dos cultivos perennes máis significativos no ámbito mundial, xa que conta con máis de 10 000 cultivares distintos en todo o mundo, e é orixinaria da rexión mediterránea, Europa central e suroeste de Asia [6, 7]. Aínda que a maior parte deste cultivo se utiliza para producir viño, unha industria importante para a economía global, outra parte utilízase para elaborar outros produtos, tales como a marmelada ou o mosto. Este cultivo tamén destaca por xerar unha gran cantidade de subprodutos, como o bagazo, as sementes ou os talos. A valorización destes subprodutos, mediante o estudo dos compostos bioactivos presentes neles, como os compostos fenólicos, ofrece unha oportunidade para o desenvolvemento de ingredientes funcionais con aplicacións na industria alimentaria, cosmética, nutracéutica e farmacéutica [8, 9]. Un dos subprodutos máis relevantes deste cultivo é o extracto de folla de uva, que se obtén mediante o secado das follas, coa súa correspondente moenda, para rematar coa extracción dos seus compostos activos mediante disolventes como auga ou etanol. Este extracto é unha fonte rica en polifenóis e outros antioxidantes, os cales presentan efectos antiinflamatorios ou cardioprotectores, entre outros, que se consideran beneficiosos para a saúde [10].

Resumindo, *Vitis vinifera* non só destaca pola súa importancia na produción vitivinícola, senón tamén polo potencial dos seus subprodutos. O estudo dos

compostos bioactivos presentes nestes subprodutos contribúe a potenciar o valor deste cultivo, promovendo o seu aproveitamento sostible.

1.2 Compostos polifenólicos

Os compostos polifenólicos, ou polifenois, son metabolitos secundarios sintetizados a través da ruta do ácido xiquímico das plantas. Estes compostos son fisioloxicamente e morfoloxicamente importantes para as plantas, xa que desempeñan un papel clave no crecemento e na reprodución das plantas, así como na protección contra patóxenos e depredadores [11, 12].

Os polifenois son derivados do fenol e caracterízanse pola presenza dun anel bencénico con un ou máis substituíntes hidroxilo. O seu tamaño varía considerablemente, desde moléculas fenólicas sinxelas ata compoñentes altamente polimerizados [13]. Xeralmente, estes compostos atopámoslos en forma conxugada, onde unha ou máis moléculas de azucre están unidas aos grupos hidroxilo, pero tamén os azucres poden estar directamente enlazados a un átomo de carbono aromático. Os azucres unidos, comunmente glicosos, poden presentarse como monosacáridos, disacáridos ou oligosacáridos [14].

Estes compostos poden dividirse en, polo menos, dez clases diferentes segundo a súa estrutura química, como os flavonoides ou os ácidos fenólicos (figura 1) [15]. Precisamente, debido á súa estrutura química, os compostos polifenólicos posúen múltiples propiedades como a actividade antiinflamatoria, antioxidante, antimicrobiana, anticanceríxena ou con beneficios cardiovasculares, que os fan aplicables en diversas áreas, como a medicina, a industria alimentaria, a cosmética ou os nutracéuticos [10, 16, 17]. Entre os principais grupos de polifenois atopamos os flavonoides, que representan o grupo máis común e amplamente distribuído destes compostos, presentes nas follas da vide, como a luteolina, rutina ou quercetina [18]. Doutra banda, temos os ácidos fenólicos, que son compostos que teñen un grupo ácido carboxílico e suscitaron unha crecente atención nos campos de investigación farmacéutica e medicinal debido ás súas propiedades na prevención de diferentes enfermidades humanas. Algúns exemplos de ácidos fenólicos son o ácido cafeico ou ácido ferúlico [19]. E, por último, os estilbenoides son un grupo de compostos fenólicos naturais que se atopan en diversas especies vexetais, como o resveratrol, e tamén son populares polas súas diversas actividades biolóxicas, desde a neuroprotección ata a prevención e tratamento do cancro [20].

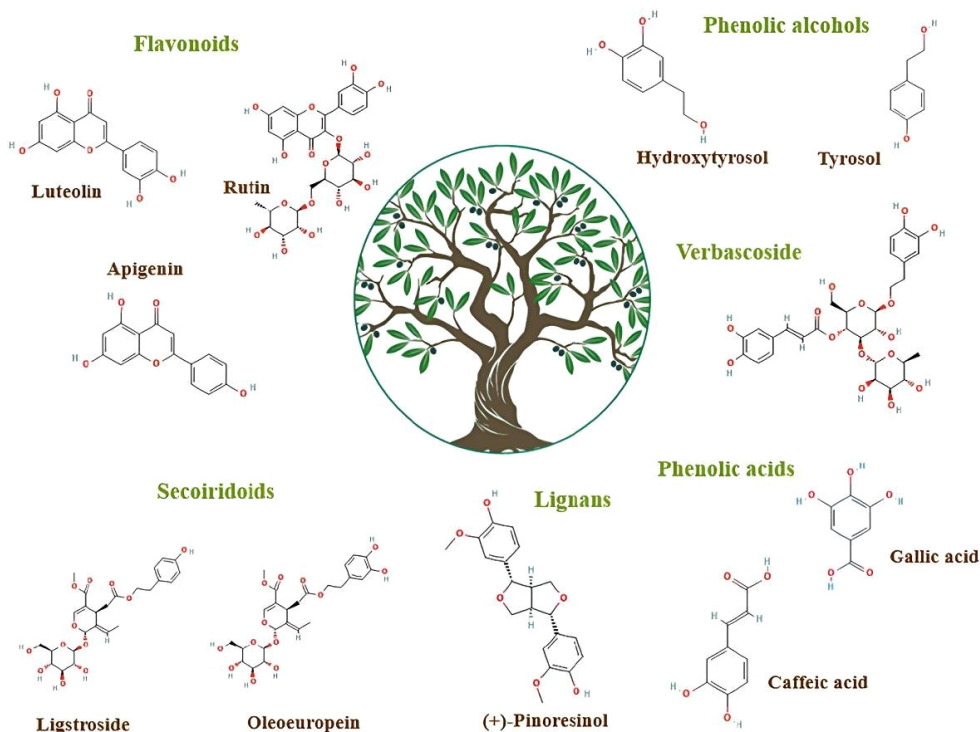


Figura 1. Diferentes clases de compostos polifenólicos [15]

1.3 Antioxidantes e os seus mecanismos de acción

Os organismos aeróbicos dependen do osíxeno molecular para vivir, pero o seu metabolismo xera especies reactivas de osíxeno (ROS, polas súas siglas en inglés) e nitróxeno (RNS, polas súas siglas en inglés), as cales deben ser reguladas para evitar o estrés oxidativo. Se se producen desequilibrios na produción e eliminación destas especies, poden provocar danos nos ácidos nucleicos, proteínas e lípidos, o que contribúe ao desenvolvemento de diversas enfermidades [20]. Os antioxidantes poden ser directos, incluíndo os que actúan como axentes quelantes que inhiben a reacción de Fenton e as enzimas que preveñen a formación de peróxidos, como os filtros UV, ou os que rompen a cadea de propagación, como os polifenóis. Por outra banda, os antioxidantes indirectos non neutralizan os radicais libremente, senón que reforzan as defensas antioxidantes do organismo, como os flavonoides [21].

Diversas enfermidades crónicas, como o cancro e as patoloxías cardiovasculares, están estreitamente relacionadas co estrés oxidativo. Nos lípidos, os radicais libres

desencadean a peroxidación lipídica, un proceso autoperpetuado que produce unha alteración na barreira epidérmica e provoca sequidade na pel. Doutra banda, no ADN, os radicais hidroxilo poden inducir mutación e envellecemento celular. As proteínas tamén sofren modificacións oxidativas que degradan o coláxeno e a elastina, que favorece o envellecemento cutáneo [22]. Neste contexto, os polifenois destacan como antioxidantes clave debido á súa capacidade para doar hidróxenos aos radicais peroxilo, interrompendo a súa propagación. A súa actividade depende de factores estruturais como a conxugación electrónica e a posición dos grupos funcionais [23]. O resveratrol, por exemplo, presenta unha elevada capacidade antioxidante debido á estabilización do seu radical fenólico mediante a resonancia [24].

Coñecer como funcionan os mecanismos antioxidantes é esencial para o desenvolvemento de estratexias na prevención de enfermidades, así como no deseño de produtos para a industria cosmética, alimentaria e farmacéutica.

1.4 Extracción líquida presurizada (ELP)

O primeiro paso para o illamento e a purificación dos compostos bioactivos presentes nas plantas ou nos alimentos é utilizar técnicas de extracción. Neste contexto, o campo da química analítica logrou avances significativos en técnicas de separación e detección. Porén, as metodoloxías de preparación de mostras recibiron menos atención, o que leva a diversas desvantaxes nas técnicas tradicionais. Estas técnicas adoitan ser lentas, requiren grandes volumes de disolvente e implican unha alta intervención e supervisión do usuario. Ademais, a investigación demostrou de maneira consistente que a preparación de mostras é a principal fonte de erros nas metodoloxías analíticas [25].

En recoñecemento desta necesidade crítica, Dionex™ dedicou esforzos de investigación significativos ao avance das técnicas de preparación de mostras. Así, a extracción líquida presurizada (ELP) representa a resposta ás limitacións relacionadas cos métodos de extracción convencionais, xa que esta técnica é unha alternativa máis rápida, máis limpa e máis eficiente para a preparación de mostras en cromatografía [26]. A necesidade de desenvolver métodos de extracción máis rápidos, menos tóxicos e máis respectuosos co medio ambiente aumentou a popularidade do ELP, especialmente nas industrias farmacéutica e alimentaria. Así, deseñáronse diversas aplicacións de ELP como, por exemplo, a extracción de

contaminantes de diferentes alimentos ou a obtención de compostos bioactivos de matrices naturais [27].

O ELP utilízase principalmente para extraer antioxidantes, como compostos fenólicos ou carotenoides, ademais doutros compostos bioactivos con propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas e antivirais. Para iso, esta técnica emprega a extracción con disolventes de matrices sólidas a temperaturas e presións elevadas, mantendo o disolvente por baixo do seu punto crítico, pero en estado líquido durante todo o proceso de extracción, e conséguese manter a presión do equipo o suficientemente alta. Estas condicións permiten mellorar a velocidade de transferencia de masa, diminuír a tensión superficial e a viscosidade do disolvente, así como aumentar a solubilidade dos analitos. Deste xeito, o disolvente penetra con maior facilidade e máis profundamente na matriz sólida que se está extraendo e obtéñense rendementos de extracción notablemente máis altos en comparación cos métodos tradicionais [28, 29].

Os parámetros fundamentais que inflúen no proceso de extracción son a temperatura, a presión, o tempo e a taxa de fluxo, e a elección do disolvente. Temperaturas elevadas melloran a solubilidade do analito, reducen a viscosidade e a tensión superficial do disolvente, e aceleran a difusión, o que facilita a liberación dos compostos da matriz. A presión, pola súa parte, optimiza a humectación da mostra e a penetración do disolvente, que mellora a eficiencia de extracción. Ademais, o tempo de extracción e a taxa de fluxo determinan o contacto efectivo entre o disolvente e a matriz, mentres que a elección do disolvente, aliñada en polaridade cos analitos obxectivo, é crucial para asegurar unha extracción selectiva e compatible coas técnicas analíticas posteriores [26, 29].

Esta técnica presenta diferentes vantaxes, como a mellora na cinética de extracción grazas ás altas temperaturas e presións, maior precisión e reproducibilidade, tempos de extracción máis curtos ou menor consumo de disolvente, entre outras. Porén, presenta algunhas desvantaxes, como o risco de degradación térmica de compostos termolábiles debido ás altas temperaturas, a necesidade dunha limpeza posterior á extracción e que, ata o momento, só se utilizou con fins analíticos [30].

Con todo isto, pódese observar que a extracción líquida presurizada (ELP) preséntase como unha alternativa innovadora e eficaz que supera moitas das limitacións das técnicas tradicionais de separación de mostras.

1.5 Disolventes eutécticos profundos (DES)

A mestura de etanol:auga ($\text{EtOH:H}_2\text{O}$) utilízase comunmente na extracción de compostos bioactivos debido á súa polaridade axustable, baixa toxicidade e mellora na cinética de extracción [31, 32]. Porén, o persoal investigador está a buscar continuamente alternativas innovadoras e ecolóxicas aos disolventes tradicionais iónicos e moleculares, co obxectivo de atopar opcións con propiedades superiores que minimicen as súas desvantaxes.

Neste contexto, a comezos do século xxi , xurdiron os disolventes eutécticos profundos (DES, polas súas siglas en inglés) como novos disolventes verdes, os cales son considerados prometedores para aplicacións de extracción ecolóxicas. Estes disolventes considéranse ecolóxicos principalmente pola súa baixa volatilidade, aínda que non todos os DES se comportan do mesmo xeito [33]. Segundo os doce principios da química verde, os disolventes ecolóxicos deben ser económicos, seguros, estables, degradables, renovables, non perigosos e cunha síntese de alta eficiencia atómica, como se mostra na figura 2 [5].

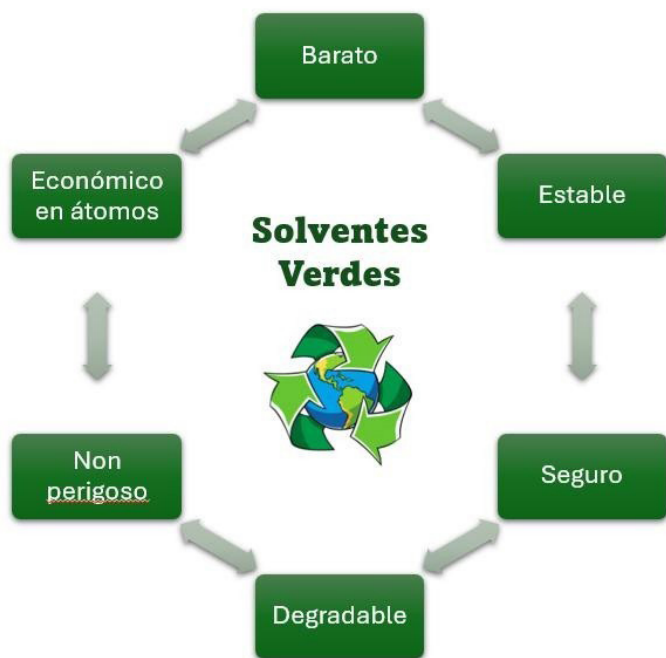


Figura 2. Principios dos solventes verdes [5]

Os DES fórmanse mediante a combinación de ácidos e bases de Lewis ou Brønsted, o que dá lugar a unha mestura eutéctica, que se define como unha solución homoxénea cun punto de fusión inferior ao dos seus compoñentes individuais. Nesta mestura, un dos compostos actúa como aceptor de enlaces de hidróxeno (HBA) e outro como doante de enlaces de hidróxeno (HBD). As interaccións HBA-HBD reducen a diferenza de entropía durante as transicións de fase, o que diminúe notablemente o punto de fusión en comparación cos compoñentes individuais. Estes disolventes pódense axustar alterando a estrutura ou proporción de cada un dos seus compoñentes, o que os fai potencialmente aplicables en diferentes áreas como a catálise, a separación e os procesos electroquímicos [34]. Comparando os DES cos líquidos aniónicos modernos baseados en aniós discretos, os DES son máis baratos de fabricar e, ás veces, biodegradables, polo que se poden empregar para tratar os problemas dos disolventes tradicionais, como os altos custos, o dano ambiental e os posibles perigos asociados a estes. As súas propiedades beneficiosas, como durabilidade, biodegradabilidade, baixa toxicidade e alta solubilidade, convértenos en disolventes prometedores para extraer recursos naturais [35].

Entre os DES máis estudados destacan os baseados en cloruro de colina (CC-DES), os cales demostraron ser especialmente efectivos na extracción de compostos fenólicos debido á súa alta solubilidade e selectividade. Ademais, os CC-DES son xeralmente ecolóxicos, non tóxicos e biodegradables, preservando a bioactividade dos compostos obxectivo e facéndooos seguros para aplicacións alimentarias ou farmacéuticas. Para mellorar o rendemento destes compostos na extracción sólido-líquido, é común a adición de auga co fin de reducir a viscosidade e facilitar o traslado de masa dos analitos. Porén, un exceso de auga pode interromper os enlaces de hidróxeno entre os compoñentes dos CC-DES, que leva a unha descomposición da súa estrutura molecular e diminúe a eficiencia da extracción. Ademais, outro factor clave é a temperatura, xa que temperaturas máis altas reducen xeralmente a densidade, a viscosidade e a tensión superficial dos DES, o que facilita a súa penetración na matriz sólida e mellora as interaccións cos compostos obxectivo. Porén, temperaturas excesivamente altas poden descompoñer os compostos polifenólicos, o que reduce as súas propiedades antioxidantes [36]. Así, obsérvase a importancia de seleccionar os CC-DES adecuados para optimizar a extracción dos compostos, así como ter un control preciso da temperatura para evitar a degradación térmica e maximizar o rendementos do proceso de extracción.

O obxectivo principal deste estudo foi explorar a extracción de compostos bioactivos, especificamente compostos polifenólicos, a partir de follas de vide utilizando unha tecnoloxía de extracción ecolóxica, como a extracción líquida presurizada (ELP). Avaliáronse diferentes condicións de extracción, como o tempo, a temperatura e o tipo de solvente, co fin de optimizar o rendemento e a diversidade de compostos obtidos. Así, comparáronse disolventes tradicionais, neste caso unha mestura de EtOH:H₂O (50:50), con disolventes innovadores ecolóxicos, como é o caso dos disolventes eutécticos profundos (DES). Este estudo proporciona un enfoque sobre como os parámetros de extracción inflúen na eficiencia da obtención de compostos bioactivos.

2 Materiais e métodos

2.1 Preparación das mostras

As follas de vide, da variedade mencia, foron recollidas en maio de 2024, en Ourense, España. Tras o proceso de extracción, as follas laváronse e almacenáronse a -80 °C durante 24 horas, antes de ser sometidas ao proceso de liofilización (liofilizador Alpha 2-4 LSC *basic*). Despois deste proceso, as mostras foron homoxeneizadas para obter un po fino, a partir do cal se prepararon 72 alícuotas de 1g de follas de vide.

2.2 Preparación dos disolventes

O primeiro disolvente utilizado para esta extracción foi unha mestura de etanol e auga, en partes iguais (EtOH:H₂O, 50:50 (v/v)). Ademais, tamén se utilizaron disolventes pertencentes á familia dos DES, utilizando cloruro de colina como aceptor de enlaces de hidróxeno (HBA) e etilenglicol, glicerol, 1,2-propanodiol e 1,4-butanodiol como doadores de enlaces de hidróxeno (HBD). As mesturas dos DES preparáronse cunha relación molar de 1:2, onde 1 corresponde ao cloruro de colina e 2 a un dos compostos DES. Este proceso realizouse mediante unha axitación a 80 °C, seguido dun repouso a temperatura ambiente durante 24 horas antes da súa utilización. Estas solucións foran diluídas en auga cunha relación 1:4 (DES:H₂O) para reducir a viscosidade.

2.3 Extracción de líquidos presurizados (ELP)

Para esta extracción empregouse un extractor de líquidos presurizados Dionex™ ASE™ 350 Accelerated Solvent Extractor (Thermo Fisher Scientific, Leicestershire, Reino Unido). Utilizáronse celas de extracción de 22 mL, as cales contiñan unha mestura

de follas de vide (1g), area de Ottawa e un papel de filtro de celulosa. Creáronse seis métodos de extracción diferentes mediante a modificación dos parámetros principais, temperatura e tempo (táboa 1), e cada un deles aplicouse a cada disolvente utilizado (táboa 2). Unha vez finalizado o proceso de extracción, cada extracto centrifugouse para eliminar calquera residuo sólido, e finalmente filtrouse unha alícuota de cada un deles para a súa análise cromatográfica.

Táboa 1. Diferentes métodos descritos por parámetros específicos para a extracción por ELP

Método	Tempo de extracción (min)	Temperatura (°C)
1	10	60
2	20	60
3	10	120
4	20	120
5	10	180
6	20	180

Táboa 2. Disolventes utilizados na extracción por ELP

Disolventes
Etanol:auga (EtOH:H ₂ O)
Cloruro de colina: glicol etileno (CC:GE)
Cloruro de colina: glicerol (CC:GLY)
Cloruro de colina: 1,2-propanodiol (CC:1,2-P)
Cloruro de colina: 1,4-butanodiol (CC:1,4-B)

2.4 Ensaio de Folin-Ciocalteu para a determinación do contido fenólico total (TPC)

Para a determinación dos compostos fenólicos totais (TPC, polas súas siglas en inglés) utilizouse a análise das mostras mediante o método de Folin-C nunha microplaca, seguindo o procedemento descrito anteriormente na bibliografía [37, 38]. Para preparar a placa, engádense 20 µl de mostra, que neste caso corresponde aos extractos de uva obtidos mediante ELP, ou ben 20 µl de estándar ou de branco (MeOH:H₂O, 1:1). Os brancos de mostra conteñen 20 µl da mostra e 100 µl de auga. Posteriormente, incorpóranse 100 µl da solución de Folin-C utilizando unha pipeta multicanle, o que xera un cambio de cor a amarelo, que é máis intenso no estándar. A mestura déixase repousar durante 4 minutos e, seguidamente, engádense 75 µl do

reactivo Na_2CO_3 , o que produce un cambio de cor cara a un ton azulado. Finalmente, a placa mantense en escuridade durante 90 minutos antes de realizar a lectura a 750 nm.

2.5 Ensaio DPPH para a avaliación da actividade antioxidante

A actividade de eliminación de radicais do 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) realizouse seguindo os protocolos descritos previamente por Céspedes-Acuña *et al.* [39], Grajeda *et al.* [40], e Svecnjak *et al.* [41], con algunhas modificacións. Para iniciar a análise, prepárase unha solución de DPPH a unha concentración de 0,152 mM en 50 mL, pesando 0,003 g do reactivo. Seguidamente, elabórase unha curva de calibración mediante a preparación de estándares con concentracións entre 150 $\mu\text{mol/L}$ e 600 $\mu\text{mol/L}$ en tubos Eppendorf. Neste estudo, seleccionáronse as mostras con maior contido de TPC obtidos para cada disolvente.

Para a reacción, engádense 25 μL de mostra ou estándar en cada pozo da microplaca, seguido de 200 μL da solución de DPPH. Así, conséguese unha concentración final de 0,135 mM en cada un deles. A mestura axítase suavemente e déixase reaccionar a temperatura ambiente, en ausencia de luz, durante 30 minutos. Tras finalizar este tempo, mídese a diminución da absorbancia a 517 nm. A capacidade de eliminación de radicais libres do DPPH determínase empregando unha curva estándar de Trolox (150-500 μM). A porcentaxe de inhibición calcúlase segundo a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{Abs_{\text{branco}} - Abs_{\text{mostra}}}{Abs_{\text{branco}}} \times 100$$

2.6 Caracterización dos compostos extraídos por LC-MS/MS

A cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) utilizouse para a análise de compostos fenólicos, seguindo o método informado por Wu *et al.* [42], con lixeiras modificacións. A cromatografía líquida de alto rendemento acoplada á espectrometría de masas (HPLC-MS, Serie 1260, Agilent), combinada cun detector de masas compacto (TRIPLE QUAD 3500; AB SCIEX INSTRUMENTS), utilizouse para analizar os compostos fenólicos. A separación realizouse mediante unha columna C18 (PHENOMENEX LUNA, 150 mm $\times$ 2 mm, 3 μm). As condicións operativas foron unha velocidade de fluxo de 300 $\mu\text{L min}^{-1}$, cunha temperatura da columna de 40 $^{\circ}\text{C}$, un volume de inxección de 10 μL e un tempo de equilibrio da columna entre carreiras de

6 minutos. A elución en gradiente levouse a cabo cunha mestura de dous disolventes: disolvente A, composto por ácido fórmico ao 0,1 % en auga, e disolvente B, composto por ácido fórmico ao 0,1 % en acetonitrilo. O programa de gradiente seguiu a seguinte secuencia: nos primeiros 4 minutos, mantívose a proporción de 98 % A e 2 % B; logo de 4 a 7 minutos aumentouse a concentración de B ata o 20 % e alcanzouse o 90 % B entre os minutos 7 e 14. As condicións iniciais restauráronse aos 15 minutos e mantivéronse ata os 21 minutos. Os parámetros do instrumento incluíron un gas de cortina (CUR) a 25 psi, un gas de colisión (CAD) a 7 psi, unha voltaxe de spray iónico (IS) de -4500 V, temperatura (TEM) de 400 °C, gas da fonte iónica 1 (GS1) a 55 psi, gas da fonte iónica 2 (GS2) a 55 psi, e o quentador de interface activado. Durante a análise, os compostos foron detectados en modo positivo (ácido ferúlico, FA, e ácido *sirínxico*, SA) e en modo negativo (vainillina, VN, ácido ftálico, PA, luteolina, LU, resveratrol, RVT, oleuropeína, OLP, oleocantal, OLC, ácido cafeico, CA, ácido p-cumárico, P-CA, ácido 3,4dihidroxibenzoico, 3,4-DA, quercetina, QE, ácido salicílico, SAA, ácido protocatecuico, PTA, hidroxitirosol, HTYR e rutina, RU). Os resultados foron expresados en mg/kg. Para a cuantificación dos compostos presentes en cada extracto de uva, preparáronse diferentes curvas de calibración, utilizando solucións con concentracións coñecidas de compostos puros, no rango de 15,62 ng/mL a 1000 ng/mL.

3 Resultados e discusión

3.1 Efecto dos parámetros de ELP no contido total de compostos fenólicos (TPC)

O contido total de fenois (TPC, polas súas siglas en inglés), é unha medida cuantitativa empregada para determinar a cantidade total de compostos fenólicos presentes nunha mostra. Así, analizouse o TPC de cada extracto de follas de vide e os resultados preséntanse na figura 3.

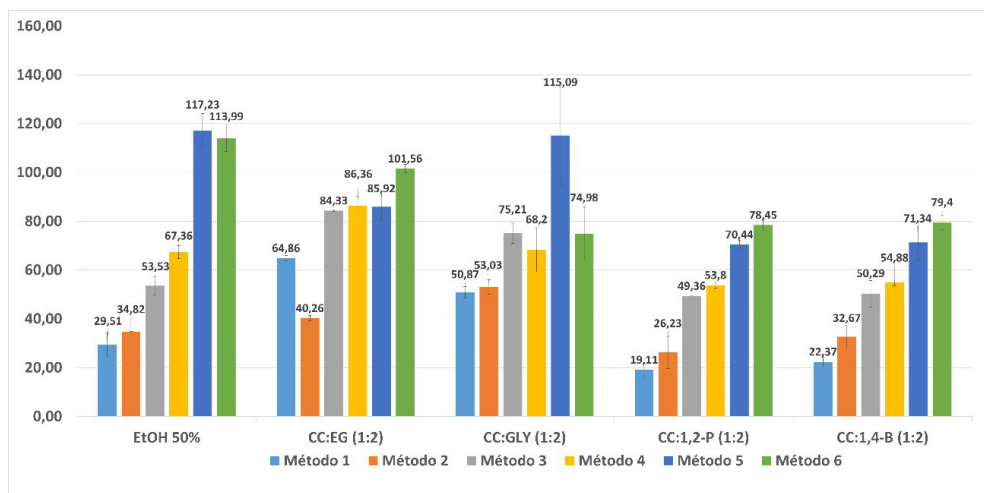


Figura 3. TPC de cada extracto de follas de vide, variedade mencía da comarca de Ourense, expresado en mgGAE/g de materia seca, valor medio $\pm$ desviación estándar.

O valor máis baixo de TPC obtívose empregando o método 1 (60 °C, 10 minutos) co disolvente cloruro de colina e 1,2-propanodiol (CC:1,2-P), o que se acadou 19,1 mgGAE/g; mentres que o máis alto se obtivo co método 5 (180 °C, 10 minutos), utilizando a mestura de etanol e auga (EtOH:H₂O, 50%), co que se acadou 117,2 mgGAE/g. Comparando con outros estudos, Labanca *et al.* [43], reportaron un TPC de 11,9 mgGAE/g empregando ELP a 50 °C durante 5 minutos con EtOH 50 %. Este valor é inferior ao obtido neste estudo baixo condicións similares, ao ser 29,5 mgGAE/g, o que se podería explicar polas diferenzas no tipo de cultivo, o uso dunha temperatura de extracción máis alta (60 °C en lugar de 50 °C) e un maior tempo de extracción (10 minutos no canto de 5 minutos). Tal e como se discutiu anteriormente, o incremento da temperatura e do tempo de extracción reduce a viscosidade e a tensión superficial do disolvente, co que se mellorou a solubilidade dos compostos na matriz sólida e, en consecuencia, aumentou a eficiencia da extracción [26, 29].

En canto aos disolventes eutécticos profundos (DES), os mellores resultados de TPC obtivéronse con cloruro de colina e glicerol (CC:GLY) mediante o método 5 (180 °C, 10 minutos), co que se acadaron 115,09 mgGAE/g, seguido do cloruro de colina e etilenglicol (CC:EG) co método 6 (101,56 mgGAE/g). Estes valores foron comparables aos obtidos con EtOH 50 % empregando os métodos de extracción 5 e 6 (117,2 mgGAE/g e 114,0 mgGAE/g, respectivamente). Así, obsérvase que os métodos de

extracción a maior temperatura e tempo, en xeral, foron os máis eficaces para obter un alto TPC, concretamente os métodos 5 (180 °C, 10 minutos) e 6 (180 °C, 20 minutos). En conclusión, considerando o uso dos DES, a temperatura óptima de extracción para follas de vide parece ser de 180 °C, o que confirma que un aumento da temperatura favorece a eficiencia do proceso de extracción.

3.2 Ensaio DPPH para a avaliación da actividade antioxidante

Para este ensaio consideráronse e analizáronse para a súa actividade antioxidante os extractos obtidos mediante os métodos 4 (120 °C, 20 minutos), 5 (180 °C, 10 minutos) e 6 (180 °C, 20 minutos), xa que presentaron os niveis máis altos de TPC. Os resultados da actividade antioxidante para as follas de vide móstranse na figura 4, expresados en $\mu\text{gTE/g}$ de materia seca.

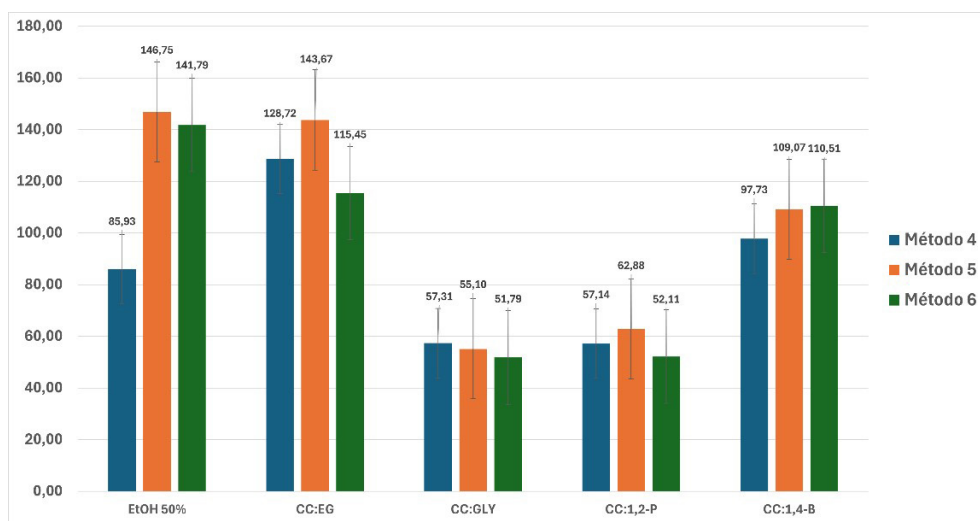


Figura 4. Actividade antioxidante de cada extracto de follas de vide, variedade mencía da comarca de Ourense, expresada como $\mu\text{gTE/g}$ de materia seca, valor medio $\pm$ desviación estándar.

Ao comparar os resultados de TPC e a actividade antioxidante para as follas de vide, obsérvase unha correlación positiva entre ambos os parámetros. A actividade antioxidante é maior cando o TPC é máis alto, mostrando un perfil similar ao do método de Folin-C. O valor máis alto corresponde a 146,75 $\mu\text{gTE/g}$, obtido co método 5 e EtOH 50 %, mentres que o máis baixo foi rexistrado con 51,79 $\mu\text{gTE/g}$ utilizando o método

6 e CC:GLY. Neste caso, obsérvase que a diferenza nos valores entre os parámetros de tempo e temperatura non son tan marcadas, mentres que entre disolventes si que se observan diferenzas máis amplas.

En termos de IC₅₀, ao comparar cos resultados presentes na literatura, obsérvase que os resultados obtidos nesta investigación son superiores. Por exemplo, Labanca *et al.* [43] determinaron un IC₅₀ de 25,40 µg/g para o extracto obtido mediante ELP con EtOH 50 % a 50 °C, un valor considerablemente menor en comparación co IC₅₀ de 45,08 µg/g obtido neste estudo baixo as condicións máis similares a estas. Este resultado pode explicarse porque o aumento da temperatura favorece a extracción de compostos fenólicos, o que leva a unha maior actividade antioxidante dos extractos estudados. Algo similar ocorre no estudo de Alhakim *et al.* [44], que estudaron o efecto antioxidante de extractos obtidos con etanol de diferentes variedades de uva obtidos mediante Soxhlet, e obteñen valores de IC₅₀ entre 0,82 µg/g e 0,12 µg/g. As diferenzas entre o seu estudo e os resultados obtidos neste poderían explicarse debido ás diferentes técnicas empregadas e variedades utilizadas. O que podemos observar cos resultados da capacidade antioxidante nos extractos de folla de vide é que a extracción co método 5 (180 °C, 10 minutos) preséntase como a mellor opción para recuperar a maior cantidade de compostos polifenólicos cunha maior capacidade antioxidante, utilizando como disolventes tanto EtOH 50 % coma CC:EG.

3.3 Caracterización dos compostos extraídos mediante LC-MS/MS

A identificación e a cuantificación dos compostos extraídos realizáronse utilizando LC-MS/MS para un total de oito compostos: ácido ftálico, luteolina, ácido cafeico, ácido *p*-coumárico, ácido 3,4-DHB, quercetina, rutina e resveratrol. A cantidade específica de cada composto, dependendo do disolvente de extracción e do método, exprésase como µg/g de materia seca. Os resultados dos compostos presentes nas follas de vide móstranse na táboa 3:

Táboa 3. Cuantificación dos compostos identificados nas follas de uva, variedade mencia, µg/g de materia seca, valor medio das dúas repeticións de cada extracción ± a súa desviación estándar.

	Método	1	2	3	4	5	6
EtOH 50 % (µg/g)	Ácido ftálico	0,27 ± 0,07	0,28 ± 0,04	0,22 ± 0,00	0,21 ± 0,04	0,34 ± 0,01	0,29 ± 0,06
	Luteolina	2,59 ± 0,48	2,24 ± 0,85	3,30 ± 0,00	2,30 ± 0,00	1,06 ± 0,22	0,97 ± 0,18
	Quercetina	88,04 ± 1,36	77,62 ± 2,53	103,86 ± 0,00	109,76 ± 0,00	120,00 ± 7,12	108,28 ± 0,00
	Rutina	218,77 ± 0,00	178,19 ± 0,05	172,04 ± 12,07	198,87 ± 20,39	112,08 ± 0,00	79,32 ± 9,11
	Ácido cafeico	89,50 ± 5,17	86,45 ± 5,91	174,98 ± 30,87	313,83 ± 28,14	401,41 ± 0,26	268,90 ± 42,12
	Ácido <i>p</i> -coumárico	8,73 ± 2,70	6,06 ± 0,47	7,50 ± 0,62	11,90 ± 0,58	31,41 ± 5,09	18,86 ± 2,40
	Ácido -3,4DHB	67,95 ± 0,00	65,01 ± 0,00	88,20 ± 0,00	91,30 ± 2,90	3,86 ± 0,24	5,69 ± 0,01
	Resveratrol	0,03 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,11 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,18 ± 0,00
	Método	1	2	3	4	5	6
CC:EG (µg/g)	Ácido ftálico	0,28 ± 0,00	0,19 ± 0,00	0,54 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,10 ± 0,00
	Luteolina	-	0,92 ± 0,00	-	0,39 ± 0,03	1,31 ± 0,00	0,20 ± 0,00
	Quercetina	8,88 ± 2,30	40,46 ± 0,00	20,91 ± 0,95	65,83 ± 18,30	67,53 ± 6,22	39,39 ± 4,98
	Rutina	95,84 ± 5,63	134,89 ± 20,85	117,87 ± 35,14	89,72 ± 4,25	46,03 ± 0,24	19,79 ± 5,71
	Ácido cafeico	54,96 ± 13,70	61,73 ± 12,45	82,28 ± 26,26	143,87 ± 36,96	123,38 ± 32,32	79,50 ± 11,19
	Ácido <i>p</i> -coumárico	5,08 ± 0,48	6,31 ± 1,46	8,66 ± 2,16	13,67 ± 2,90	71,93 ± 0,00	7,75 ± 2,04
	Ácido -3,4DHB	42,33 ± 0,00	44,15 ± 4,24	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	2,38 ± 0,08	2,73 ± 0,22
	Resveratrol	-	-	-	-	0,56 ± 0,06	0,21 ± 0,01
	Método	1	2	3	4	5	6
CC:GLY (µg/g)	Ácido ftálico	0,18 ± 0,00	-	0,57 ± 0,00	0,36 ± 0,05	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,00
	Luteolina	0,17 ± 0,00	0,63 ± 0,06	0,28 ± 0,00	-	0,59 ± 0,09	0,62 ± 0,00
	Quercetina	24,56 ± 0,00	21,77 ± 4,16	23,98 ± 4,66	30,56 ± 1,25	48,91 ± 3,15	41,41 ± 1,49
	Rutina	102,23 ± 0,00	103,09 ± 0,00	76,22 ± 3,68	52,65 ± 5,13	14,08 ± 1,14	7,03 ± 1,28
	Ácido cafeico	42,65 ± 9,58	51,68 ± 0,88	63,70 ± 0,00	65,06 ± 13,84	33,76 ± 4,04	32,74 ± 5,78
	Ácido <i>p</i> -coumárico	4,87 ± 1,79	4,92 ± 0,57	5,98 ± 0,00	5,99 ± 0,11	10,88 ± 0,40	4,65 ± 0,18
	Ácido -3,4DHB	38,22 ± 0,00	31,48 ± 0,00	25,22 ± 0,00	35,56 ± 0,00	2,06 ± 0,08	2,84 ± 0,24
	Resveratrol	-	-	-	-	0,27 ± 0,04	0,52 ± 0,00
	Método	1	2	3	4	5	6
CC:1,2-P (µg/g)	Ácido ftálico	0,09 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,11 ± 0,05	0,08 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,33 ± 0,00
	Luteolina	-	-	-	2,32 ± 0,00	0,95 ± 0,00	0,20 ± 0,00
	Quercetina	4,27 ± 0,51	3,96 ± 0,40	14,50 ± 1,88	49,04 ± 0,00	47,84 ± 0,41	32,75 ± 0,00
	Rutina	66,69 ± 4,95	102,59 ± 22,23	77,11 ± 10,13	74,77 ± 3,94	18,37 ± 4,78	7,28 ± 0,00
	Ácido cafeico	37,15 ± 1,78	35,09 ± 6,16	89,45 ± 11,84	115,80 ± 6,58	27,90 ± 7,74	17,38 ± 0,00
	Ácido <i>p</i> -coumárico	3,85 ± 0,11	4,04 ± 0,24	9,71 ± 0,66	13,10 ± 0,03	9,23 ± 1,35	3,12 ± 0,00
	Ácido -3,4DHB	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,14 ± 0,04	0,14 ± 0,01	2,12 ± 0,21	2,57 ± 0,00
	Resveratrol	-	-	-	0,01 ± 0,00	0,29 ± 0,07	0,19 ± 0,00

(continúa)

	Método	1	2	3	4	5	6
CC:1,4-B (µg/g)	Ácido ftálico	0,01 ± 0,00	-	0,006 ± 0,000	0,03 ± 0,00	0,15 ± 0,04	0,06 ± 0,00
	Luteolina	0,54 ± 0,20	0,37 ± 0,07	2,52 ± 0,00	0,45 ± 0,14	0,74 ± 0,00	-
	Quercetina	27,61 ± 0,61	25,84 ± 3,55	43,08 ± 1,06	39,10 ± 2,96	30,93 ± 4,19	27,96 ± 4,89
	Rutina	78,35 ± 6,24	99,35 ± 18,95	85,68 ± 2,95	42,54 ± 5,09	9,23 ± 0,29	4,23 ± 0,87
	Ácido cafeico	48,96 ± 7,72	49,99 ± 4,67	107,06 ± 11,02	88,10 ± 19,09	5,98 ± 0,69	4,34 ± 0,23
	Ácido <i>p</i> -coumárico	4,42 ± 0,01	5,01 ± 0,28	10,20 ± 0,43	5,09 ± 0,35	4,02 ± 0,08	2,34 ± 0,22
	Ácido -3,4DHB	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,00	31,32 ± 0,00	28,44 ± 0,51	1,48 ± 0,11	1,73 ± 0,03
	Resveratrol	-	-	0,03 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,16 ± 0,05	0,12 ± 0,01

As follas de uva amosan unha gran cantidade de quercetina en comparación cos outros compostos detectados. En particular, a concentración máis alta de quercetina obtívose mediante a extracción con EtOH 50 % e o método 4 (120 °C, 20 minutos), cunha concentración de 109,76 µg/g. Con todo, a extracción con DES tamén deu resultados comparables para a recuperación de quercetina, especialmente co disolvente CC:EG, e alcanzouse unha concentración de 65,83 µg/g no método 4. Pola súa parte, a rutina tamén se detectou en cantidades significativas, ao ser a súa maior concentración obtida na extracción con EtOH 50 % e o método 1 (60 °C, 10 minutos), que correspondeu a 218,77 µg/g. Ademais, nos extractos de CC:GLY, a rutina amosou concentracións menores e alcanzou o seu valor máis alto co método 2 (103,09 µg/g). Labanca *et al.* [43] obtiveron 192,23 µg/g a 50 °C, unha concentración menor á obtida neste estudo a 60 °C utilizando o mesmo disolvente (EtOH 50 %), o que leva a deducir que o procedemento e o rendemento deste estudo é bo.

En canto a outros compostos, como o resveratrol, este detectouse en todos os métodos de extracción co disolvente EtOH 50 %, mentres que nos DES só se detectou nas temperaturas máis altas e en concentracións moi baixas. Un caso similar ocorre coa luteolina, que aínda que se detectou na maior parte dos métodos, foi en concentracións moi pequenas. Isto suxire que estes compostos poden necesitar disolventes diferentes ou unha técnica de extracción distinta para a súa adecuada recuperación. Pola súa parte, o ácido cafeico extráese principalmente a altas temperaturas e destaca o método 5 (180 °C, 10 minutos), co cal se obtivo unha concentración de 401,41 µg/g utilizando a mestura de etanol e auga. En xeral, as temperaturas máis altas parecen ser necesarias para a recuperación óptima de varios compostos fenólicos nos extractos da vide.

4 Conclusións

Este estudo presenta unha avaliación exhaustiva sobre a extracción de compostos polifenólicos das follas de vide, da variedade mencia recollidas na comarca de Ourense, mediante a extracción con líquidos presurizados (ELP) optimizando varias condicións clave, tales como o disolvente, a temperatura e o tempo. Así, os mellores resultados, tanto en termos de contido total de fenóis coma de actividade antioxidante, obtivéronse empregando os métodos de extracción 4 (120 °C, 20 minutos), 5 (180 °C, 10 minutos) e 6 (180 °C, 20 minutos). Como disolventes utilizouse unha mestura de etanol e auga (50:50, v/v), considerado un disolvente tradicional, e os disolventes eutécticos profundos (DES) baseados en cloruro de colina (ChCl). Os máis efectivos, en xeral, na extracción de compostos foron o EtOH 50 % e o CC:EG, e os compostos maioritarios extraídos foron a quercetina e a rutina, mentres que os minoritarios foron a luteolina e o resveratrol. Os DES demostraron ser unha alternativa comparable e mesmo, nalgúns casos, máis eficiente ca o EtOH:H₂O, un dos disolventes verdes máis estudados ata a data. O seu uso abre novas posibilidades na investigación, especialmente na obtención de perfís fenólicos específicos. Para avanzar neste campo, sería fundamental optimizar tanto a composición e a combinación dos DES coma a súa aplicación na extracción, explorando a súa escalabilidade mediante ELP baixo condicións óptimas e tendo en conta a parte económica do uso dos disolventes. Ademais, os resultados deste estudo contribúen ao coñecemento existente sobre o aproveitamento sostible de subprodutos agroalimentarios, destacando o seu potencial beneficio para a saúde.

Agradecementos

Esta investigación foi financiada pola Deputación Provincial de Ourense mediante as axudas concedidas na convocatoria de axudas a grupos de investigación do campus de Ourense (INOUE246) ao proxecto con título «Optimización da técnica de extracción por líquidos presurizados (PLE) para a obtención de extractos bioactivos de subprodutos de variedades de uva da comarca de Ourense». Os autores/as agradécenlles ao MCINN polo financiamento Ramón y Cajal RYC2022036690-I e á Xunta de Galicia polo financiamento dos programas de excelencia ED431F 2024/22 e GRC-ED431C 2022/25.

5 Referencias

- [1] Elkatry, H.O.; Ahmed, A.R.; El-Beltagi, H.S.; Mohamed, H.I.; Eshak, N.S. Biological Activities of Grape Seed By-Products and Their Potential Use as Natural Sources of Food Additives in the Production of Balady Bread. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 1948 2022, 11, 1948, doi:10.3390/FOODS11131948.
- [2] Bhat, R. Sustainability Challenges in the Valorization of Agri-Food Wastes and byProducts. *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products: Recent Trends, Innovations and Sustainability Challenges* 2021, 1–27, doi:10.1016/B978-0-12-824044-1.00022-2.
- [3] Otero, P.; Garcia-Oliveira, P.; Carpena, M.; Barral-Martinez, M.; Chamorro, F.; Echave, J.; Garcia-Perez, P.; Cao, H.; Xiao, J.; Simal-Gandara, J.; et al. Applications of ByProducts from the Olive Oil Processing: Revalorization Strategies Based on Target Molecules and Green Extraction Technologies. *Trends Food Sci Technol* 2021, 116, 1084–1104, doi:10.1016/J.TIFS.2021.09.007.
- [4] Basics of Green Chemistry | US EPA Available online: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry> (accessed on 27 March 2025).
- [5] Armenta, S.; Esteve-Turrillas, F.A.; Garrigues, S.; de la Guardia, M. Alternative Green Solvents in Sample Preparation. *GAnCh* 2022, 1, 100007, doi:10.1016/J.GREEAC.2022.100007.
- [6] Prathiksha, Ms.; Hegde, K. A Review on Vitis Vinifera L.: The Grape. *Int. J Pharm Sci Rev Res* 2022, 142–145, doi:10.47583/IJPSRR.2022.V74I01.023.
- [7] Terral, J.F.; Tabard, E.; Bouby, L.; Ivorra, S.; Pastor, T.; Figueiral, I.; Picq, S.; Chevance, J.B.; Jung, C.; Fabre, L.; et al. Evolution and History of Grapevine (Vitis Vinifera) under Domestication: New Morphometric Perspectives to Understand Seed Domestication Syndrome and Reveal Origins of Ancient European Cultivars. *Ann Bot* 2010, 105, 443–455, doi:10.1093/AOB/MCP298.
- [8] Beres, C.; Costa, G.N.S.; Cabezudo, I.; da Silva-James, N.K.; Teles, A.S.C.; Cruz, A.P.G.; Mellinger-Silva, C.; Tonon, R. V.; Cabral, L.M.C.; Freitas, S.P. Towards Integral Utilization of Grape Pomace from Winemaking Process: A Review. *Waste Management* 2017, 68, 581–594, doi:10.1016/J.WASMAN.2017.07.017.
- [9] Da, J.; Lopes, C.; Madureira, J.; Margaça, F.M.A.; Cabo Verde, S. Grape Pomace: A Review of Its Bioactive Phenolic Compounds, Health Benefits, and Applications. *Molecules* 2025, Vol. 30, Page 362 2025, 30, 362, doi:10.3390/MOLECULES30020362.
- [10] Singh, J.; Rasane, P.; Kaur, R.; Kaur, H.; Garg, R.; Kaur, S.; Ercisli, S.; Choudhary, R.; Skrovankova, S.; Mlcek, J. Valorization of Grape (Vitis Vinifera) Leaves for Bioactive Compounds: Novel Green Extraction Technologies and Food-Pharma Applications. *Front Chem* 2023, 11, doi:10.3389/FCHEM.2023.1290619.

- [11] Zagorskina, N. V.; Zubova, M.Y.; Nechaeva, T.L.; Kazantseva, V. V.; Goncharuk, E.A.; Kantanskaya, V.M.; Baranova, E.N.; Aksenova, M.A. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences* 2023, Vol. 24, Page 13874 2023, 24, 13874, doi:10.3390/IJMS241813874.
- [12] Singh, S.; Kaur, I.; Kariyat, R. The Multifunctional Roles of Polyphenols in PlantHerbivore Interactions. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, Vol. 22, Page 1442 2021, 22, 1442, doi:10.3390/IJMS22031442.
- [13] Lin, D.; Xiao, M.; Zhao, J.; Li, Z.; Xing, B.; Li, X.; Kong, M.; Li, L.; Zhang, Q.; Liu, Y.; et al. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules* 2016, Vol. 21, Page 1374 2016, 21, 1374, doi:10.3390/MOLECULES21101374.
- [14] Šamec, D.; Karalija, E.; Šola, I.; Vujčić Bok, V.; Salopek-Sondi, B. The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 118 2021, 10, 118, doi:10.3390/PLANTS10010118.
- [15] Abdallah, M.; Ben Aoun, R.; Ben Amor, M.; Touhami, I.; Habibi, M.; Trabelsi, N. Useful Bioactive Compounds from Olive Tree By-Products (Leaves, Branches, Fruits). 2023, 331–358, doi:10.1007/978-981-19-8774-8_13.
- [16] Dias, R.; Oliveira, H.; Fernandes, I.; Simal-Gandara, J.; Perez-Gregorio, R. Recent Advances in Extracting Phenolic Compounds from Food and Their Use in Disease Prevention and as Cosmetics. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2021, 61, 1130–1151, doi:10.1080/10408398.2020.1754162.
- [17] Aatif, M. Current Understanding of Polyphenols to Enhance Bioavailability for Better Therapies. *Biomedicines* 2023, 11, doi:10.3390/BIOMEDICINES11072078.
- [18] Panche, A.N.; Diwan, A.D.; Chandra, S.R. Flavonoids: An Overview. *J Nutr Sci* 2016, 5, e47, doi:10.1017/JNS.2016.41.
- [19] Kumar, N.; Goel, N. Phenolic Acids: Natural Versatile Molecules with Promising Therapeutic Applications. *Biotechnology Reports* 2019, 24, e00370, doi:10.1016/J.BTRE.2019.E00370.
- [20] Di Meo, S.; Reed, T.T.; Venditti, P.; Victor, V.M. Role of ROS and RNS Sources in Physiological and Pathological Conditions. *Oxid Med Cell Longev* 2016, 2016, doi:10.1155/2016/1245049.
- [21] Valgimigli, L.; Pratt, D.A. Antioxidants in Chemistry and Biology. *Encyclopedia of Radicals in Chemistry, Biology and Materials* 2012, doi:10.1002/9781119953678.RAD055.
- [22] Nimse, S.B.; Pal, D. Free Radicals, Natural Antioxidants, and Their Reaction Mechanisms. *RSC Adv* 2015, 5, 27986–28006, doi:10.1039/C4RA13315C.

- [23] Losada-Barreiro, S.; Sezgin-Bayindir, Z.; Paiva-Martins, F.; Bravo-Díaz, C. Biochemistry of Antioxidants: Mechanisms and Pharmaceutical Applications. *Biomedicines* 2022, 10, doi:10.3390/BIOMEDICINES10123051.
- [24] Kovacic, P.; Somanathan, R. Multifaceted Approach to Resveratrol Bioactivity: Focus on Antioxidant Action, Cell Signaling and Safety. *Oxid Med Cell Longev* 2010, 3, 86–100, doi:10.4161/OXIM.3.2.11147.
- [25] Patrice Didion, Y.; Gijsbert Tjalsma, T.; Su, Z.; Malankowska, M.; Pinelo, M. What Is next? The Greener Future of Solid Liquid Extraction of Biobased Compounds: Novel Techniques and Solvents Overpower Traditional Ones. *Sep Purif Technol* 2023, 320, 124147, doi:10.1016/J.SEPPUR.2023.124147.
- [26] Giergielewicz-Mozajska, H.; Dabrowski, L.; Namieśnik, J. Accelerated Solvent Extraction (ASE) in the Analysis of Environmental Solid Samples — Some Aspects of Theory and Practice. *Crit Rev Anal Chem* 2001, 31, 149–165, doi:10.1080/20014091076712.
- [27] Francisco, A.P.; Sganzerla, W.G.; Nochi Castro, L.E.; Cruz Tabosa Barroso, T.L.; da Silva, A.P.G.; da Rosa, C.G.; Nunes, M.R.; Forster-Carneiro, T.; Rostagno, M.A. Pressurized Liquid Extraction of Bioactive Compounds from Grape Peel and Application in PH-Sensing Carboxymethyl Cellulose Films: A Promising Material to Monitor the Freshness of Pork and Milk. *Food Research International* 2024, 179, 114017, doi:10.1016/J.FOODRES.2024.114017.
- [28] Perez-Vazquez, A.; Carpena, M.; Barciela, P.; Cassani, L.; Simal-Gandara, J.; Prieto, M.A. Pressurized Liquid Extraction for the Recovery of Bioactive Compounds from Seaweeds for Food Industry Application: A Review. *Antioxidants (Basel)* 2023, 12, doi:10.3390/ANTIOX12030612.
- [29] Alvarez-Rivera, G.; Bueno, M.; Ballesteros-Vivas, D.; Mendiola, J.A.; Ibañez, E. Pressurized Liquid Extraction. *Liquid-Phase Extraction* 2019, 375–398, doi:10.1016/B978-0-12-816911-7.00013-X.
- [30] Danlami, J.M.; Arsad, A.; Zaini, M.A.A.; Sulaiman, H. A Comparative Study of Various Oil Extraction Techniques from Plants. *Reviews in Chemical Engineering* 2014, 30, 605–626, doi:10.1515/REVCE-2013-0038.
- [31] Monroy, Y.M.; Rodrigues, R.A.F.; Sartoratto, A.; Cabral, F.A. Influence of Ethanol, Water, and Their Mixtures as Co-Solvents of the Supercritical Carbon Dioxide in the Extraction of Phenolics from Purple Corn Cob (*Zea Mays* L.). *J Supercrit Fluids* 2016, 118, 11–18, doi:10.1016/J.SUPFLU.2016.07.019.
- [32] Winterton, N. The Green Solvent: A Critical Perspective. *Clean Technologies and Environmental Policy* 2021 23:9 2021, 23, 2499–2522, doi:10.1007/S10098-021-02188-8.

- [33] Zainal-Abidin, M.H.; Hayyan, M.; Matmin, J.; Al-Fakih, A.M.; Jamaluddin, N.; Wan Mahmood, W.M.A.; Abdul Wahab, R.; Abdullah, F. Greening Industrial Applications with Magnetic-Based Deep Eutectic Solvents: A Promising Future. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2023, 124, 1–16, doi:10.1016/J.JIEC.2023.04.011.
- [34] Smith, E.L.; Abbott, A.P.; Ryder, K.S. Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chem Rev* 2014, 114, 11060–11082, doi:10.1021/CR300162P.
- [35] Neubauer, M.; Wallek, T.; Lux, S. Deep Eutectic Solvents as Entrainers in Extractive Distillation – A Review. *Chemical Engineering Research and Design* 2022, 184, 402–418, doi:10.1016/J.CHERD.2022.06.019.
- [36] Alam, M.A.; Muhammad, G.; Khan, M.N.; Mofijur, M.; Lv, Y.; Xiong, W.; Xu, J. Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvents as Green Extractants for the Isolation of Phenolic Compounds from Biomass. *J Clean Prod* 2021, 309, 127445, doi:10.1016/J.JCLEPRO.2021.127445.
- [37] Bobo-García, G.; Davidov-Pardo, G.; Arroqui, C.; Vírveda, P.; Marín-Arroyo, M.R.; Navarro, M. Intra-Laboratory Validation of Microplate Methods for Total Phenolic Content and Antioxidant Activity on Polyphenolic Extracts, and Comparison with Conventional Spectrophotometric Methods. *J Sci Food Agric* 2015, 95, 204–209, doi:10.1002/JSSA.6706.
- [38] Sánchez-Rangel, J.C.; Benavides, J.; Heredia, J.B.; Cisneros-Zevallos, L.; Jacobo-Velázquez, D.A. The Folin–Ciocalteu Assay Revisited: Improvement of Its Specificity for Total Phenolic Content Determination. *Analytical Methods* 2013, 5, 5990–5999, doi:10.1039/C3AY41125G.
- [39] Céspedes-Acuña, C.L.; Xiao, J.; Wei, Z.J.; Chen, L.; Bastias, J.M.; Avila, J.G.; AlarconEnos, J.; Werner-Navarrete, E.; Kubo, I. Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of Extracts from Maqui Berry *Aristotelia chilensis* in Human Colon Cancer Cells. *J Berry Res* 2018, 8, 275–296, doi:10.3233/JBR-180356/ASSET/D953780F-90D4-451F-8ABDF9EA9A59F-D7E/ASSETS/GRAPHIC/10.3233_JBR-180356-FIG7.JPG.
- [40] Grajeda-Iglesias, C.; Salas, E.; Barouh, N.; Baréa, B.; Panya, A.; Figueroa-Espinoza, M.C. Antioxidant Activity of Protocatechuates Evaluated by DPPH, ORAC, and CAT Methods. *Food Chem* 2016, 194, 749–757, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2015.07.119.
- [41] Svečnjak, L.; Marijanović, Z.; Okińczyc, P.; Kuś, P.M.; Jerković, I. Mediterranean Propolis from the Adriatic Sea Islands as a Source of Natural Antioxidants: Comprehensive Chemical Biodiversity Determined by GC-MS, FTIR-ATR, UHPLC-DAD-QqTOF-MS, DPPH and FRAP Assay. *Antioxidants (Basel)* 2020, 9, doi:10.3390/ANTIOX9040337.
- [42] Wu, H.; Haig, T.; Pratley, J.; Lemerle, D.; An, M. Distribution and Exudation of Allelochemicals in Wheat *Triticum aestivum*. *J Chem Ecol* 2000, 26, 2141–2154, doi:10.1023/A:1005520500110/METRICS.

- [43] Labanca, F.; Faraone, I.; Nolè, M.R.; Hornedo-Ortega, R.; Russo, D.; García-Parrilla, M.C.; Chiummiento, L.; Bonomo, M.G.; Milella, L. New Insights into the Exploitation of *Vitis Vinifera* L. Cv. Aglianico Leaf Extracts for Nutraceutical Purposes. *Antioxidants (Basel)* 2020, 9, 1–16, doi:10.3390/ANTIOX9080708.
- [44] Alhakim, F.; Laham, A.; Hasian, J. Comparative Study of Alcoholic Extracts of Different Syrian Grapevine and Olive Leaf Cultivars for Their Antioxidant Activity and Photoprotective Effects. *Adv Pharmacol Pharm Sci* 2024, 2024, doi:10.1155/2024/7027281.

Sistema de detección mediante intelixencia artificial para o reconto e a análise de mostras biolóxicas en imaxes xeradas por microscopio

M. Pérez-Pérez,^{1,2} M. Fernández-González,³ R. Pavón,^{1,2} R. Laza,^{1,2} e M. Novo-Lourés^{1,2}

¹Universidade de Vigo, Departamento de Informática, ESEI - Escola Superior de Enxeñaría Informática, 32004 Ourense, España

²Grupo de Investigación SING, Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO

³Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo, Facultade de Ciencias, campus de Ourense, Universidade de Vigo
martiperez@uvigo.gal, mfgonzalez@uvigo.gal, pavon@uvigo.gal, rlaza@uvigo.gal, manovo@uvigo.gal

Resumo

A análise de imaxes microscópicas desempeña un papel crucial en diversas disciplinas científicas, como a bioloxía, a medicina e a monitorización ambiental. No contexto da aerobioloxía, a identificación e a clasificación automatizada de grans de pole resultan fundamentais para a vixilancia ambiental e a saúde pública, especialmente ante o impacto das alerxias e o cambio climático. Os métodos tradicionais, baseados na análise manual, son laboriosos, requiren persoal cualificado e teñen custos elevados. Neste traballo, propónse unha solución baseada en Deep Learning (DL) para a detección e o reconto automático de grans de pole en imaxes microscópicas, utilizando a arquitectura YOLOv9 optimizada para a contorna galega.

A metodoloxía desenvolvida combina técnicas avanzadas de procesamento de imaxe, etiquetaxe activa e aumento sintético de datos para mellorar a precisión, robustez e desenvolvemento do modelo. Xunto coa estratexia computacional, o presente traballo propón unha metodoloxía de aprendizaxe activa para optimizar o proceso de

anotación, reducindo a carga de traballo manual e permitindo un refinamento iterativo das deteccións. Como resultado, o modelo adestrado acadou valores elevados para algunhas especies polínicas, o que evidencia o seu potencial na automatización do recento aerobiolóxico. Ademais, a análise dos erros suxire que a mellora na cantidade e na diversidade de datos anotados podería incrementar significativamente o rendemento final do sistema. Como conclusión, os resultados deste estudo demostran que a aplicación de modelos de DL na análise microscópica pode automatizar o procesamento de imaxes microscópicas para reducir os custos de monitorización do medio ambiente. Finalmente, cabe destacar que a metodoloxía proposta é adaptable a outras disciplinas científicas que requiran recoñecemento automático de obxectos microscópicos, como a biomedicina e a ecoloxía. Este traballo representa un paso cara á automatización da análise aerobiolóxica, establecendo unha base sólida para futuras investigacións na monitorización ambiental e na integración de sistemas de seguimento en tempo real.

Palabras clave: intelixencia artificial, procesamento de imaxes e pole

1 Introducción

A análise de imaxes microscópicas desempeña un papel fundamental en numerosas disciplinas científicas, incluíndo a bioloxía, a medicina e a análise medioambiental. A identificación e a clasificación de elementos microscópicos, como células, microorganismos, partículas ou grans de pole, constitúe un proceso esencial para a investigación en ciencias da vida e para a toma de decisións en ámbitos como a saúde pública e a vixilancia medioambiental [1].

O pole representa un desafío cada vez maior para a saúde pública, a agricultura e a planificación ambiental, sobre todo polo impacto das alerxias. En Europa, entre o 20 % e o 35 % da poboación sofre alerxias ao pole, unha afección que xera un custo sanitario e económico estimado entre 55 e 151 millóns de euros anuais [2]. Este problema agrávase polo cambio climático, que está a prolongar as tempadas de pole e a aumentar a súa concentración no aire, intensificando os efectos sobre as persoas sensibles. A prevención é a mellor estratexia contra as alerxias, xa que require sistemas precisos de monitorización e predición para anticipar episodios de alta concentración e aplicar medidas que mitiguen os síntomas. A pesar diso, os métodos tradicionais de monitorización do pole, baseados na análise manual con microscopia, seguen sendo os máis usados. Con todo, presentan importantes limitacións. Son procesos laboriosos, requiren persoal altamente cualificado e teñen un custo elevado, xa que cada trampa

de recollida necesita arredor de 393 horas de traballo anuais, o que equivale a un gasto de case 14 000 euros por unidade [3]. A escaseza de persoas expertas en palinoloxía e os custos asociados fan que este sistema non sexa sostible a longo prazo. Ademais, aínda que existen sistemas automatizados comerciais, como os baseados en sensores ópticos e citometría de fluxo, o seu prezo elevado (entre 285 000 e 760 000 euros por unha pequena rede de monitorización) e a necesidade de mantemento especializado dificultan a súa adopción, especialmente en rexións con menos recursos [4]. Por este motivo, cada vez máis iniciativas europeas buscan mellorar a monitorización e a predición do pole con solucións máis accesibles e eficientes. A transición cara a métodos baseados en intelixencia artificial e visión artificial representa unha alternativa viable para reducir custos, aumentar a precisión e minimizar a dependencia de especialistas.

Neste contexto, a intelixencia artificial (IA), e en particular o Deep Learning (DL), pode revolucionar a análise de imaxes microscópicas ao proporcionar métodos precisos e automatizados para identificar e contar os distintos corpos presentes nas mostras [5], sendo a aerobioloxía unha das disciplinas que se pode beneficiar notablemente da automatización mediante IA.

Os métodos convencionais de análise aerobiolóxica requiren que especialistas realicen recentos manuais con microscopios ópticos, o que implica unha elevada carga de traballo, sobre todo en primavera, e unha alta posibilidade de variabilidade interobservador e intraobservador (ao aumentar a fatiga visual). Ademais, estes recentos deben realizarse de forma continua ao longo do ano, o que supón un grande esforzo en termos de tempo e recursos. No ámbito nacional, a Rede Española de Aerobioloxía (REA) amosa datos de pole de toda España, por iso cunha ferramenta como esta poderíase optimizar o traballo do persoal investigador no ámbito nacional. Así pois, a automatización deste proceso mediante modelos de DL ten a posibilidade de mellorar a precisión da identificación de pole, reducir os tempos de análise, reducir os recursos precisos e facilitar a integración de sistemas de seguimento ambiental en tempo real [6, 7]. Os modelos de DL aplicados á visión artificial trouxeron consigo avances significativos neste campo nos últimos anos. Algoritmos como YOLO (You Only Look Once) [8] teñen demostrado unha grande eficacia na detección e na clasificación de obxectos en imaxes, ao ser amplamente utilizados en aplicacións como a seguridade, a automoción e a medicina. Con todo, a súa aplicación en imaxes microscópicas presenta desafíos adicionais debido ás características particulares deste tipo de imaxes, que inclúen variacións de tamaño, forma, textura e nivel de contraste dos obxectos de interese [9].

Neste contexto, o presente traballo orixínase como unha colaboración entre persoal investigador dos grupos de investigación SING (Grupo de Sistemas Informáticos de Nova Xeración) e GISA (Grupo de Investigación en Sistemas Agroambientais), os cales teñen colaborado previamente en proxectos específicos relacionados coa saúde medioambiental [10]. O grupo SING é experto no uso de técnicas computacionais avanzadas (incluíndo a aprendizaxe profunda, DL) para a visión por computador e a resolución de problemas [11]. Pola súa banda, o grupo GISA achega máis de 30 anos de experiencia especializada no reconto e monitorización do pole, proporcionando un coñecemento fundamental do dominio e unha visión das dificultades prácticas das metodoloxías tradicionais. Ademais, conta cun rexistro de mostras de pole e a súa evolución ao longo dos últimos 30 anos (dende 1993) [12].

Desta maneira, este traballo presenta unha solución integral para o recoñecemento automático e o reconto de taxons de pole en imaxes microscópicas baseada na arquitectura YOLOv9 e optimizada para a contorna galega [13]. A selección deste caso baséase na importancia da aerobioloxía para a vixilancia ambiental e a saúde pública, así como na necesidade de mellorar a eficiencia e a precisión na identificación de partículas biolóxicas en mostras microscópicas. A metodoloxía proposta busca reducir a carga de traballo manual e aumentar a reproducibilidade dos resultados mediante un sistema automatizado de detección e clasificación.

Deste xeito, o obxectivo principal deste estudo é demostrar a viabilidade da IA e do DL para mellorar a análise e o reconto de elementos en imaxes microscópicas, reducindo os tempos de procesamento, minimizando erros á vez que se proporciona un marco de traballo adaptable a outras áreas da microscopia. Aínda que o presente traballo se centra na detección e no reconto de grans de pole, a metodoloxía e os algoritmos desenvoltos poden aplicarse a outras disciplinas que requiran o recoñecemento automático de obxectos microscópicos, investigacións e aplicacións en biomedicina, ecoloxía e outros campos que requiran o procesamento avanzado de imaxes microscópicas.

2 Materiais e métodos

2.1 Protocolo empregado para preparar as mostras aerobiolóxicas

As imaxes empregadas no estudo foron obtidas a partir de mostras aerobiolóxicas recollidas en Ourense, unha rexión cunha gran diversidade polínica e con alta incidencia de afeccións respiratorias asociadas ao pole. Para a súa recollida utilizouse

un captador de tipo Hirst [14] modelo Lanzoni VPPS-2000, que está situado na azotea do edificio Politécnico da Facultade de Ciencias de Ourense. Este captador consta dunha bomba de succión que aspira aire a razón de 10 l/min. Esta bomba funciona conectada á corrente eléctrica e toma mostras continuamente as 24 horas do día. A parte superior do captador conta cun mecanismo de reloxaría que fai que o tambor colocado para recoller as mostras xire a razón de 2 mm cada hora do día; este tambor substitúese semanalmente. A continuación, as mostras foron procesadas mediante o protocolo estandarizado pola Rede Española de Aerobioloxía [15].

A adquisición das imaxes realizouse cun microscopio óptico Leica DM500 equipado con diferentes niveis de ampliación, que captura detalles estruturais que permiten a diferenciación entre os distintos tipos polínicos. Para asegurar unha ampla cobertura da variabilidade existente, incluíronse imaxes de pole de diferentes *taxa* predominantes na rexión, como *Betula*, *Platanus*, *Urtica* e *Pinus*. Esta diversidade resulta clave para garantir a capacidade do modelo de xeneralizar novos datos e evitar nesgos na clasificación.

2.2 Creación do conxunto de datos

As imaxes foron anotadas de maneira manual por especialistas en aerobioloxía utilizando a plataforma Label Studio [16] para localizar e identificar os grans de pole, creando un conxunto de datos anotado de alta calidade que serviría como referencia para o adestramento e a avaliación do modelo de detección e clasificación. Neste senso, durante o tempo que durou o proxecto, realizáronse catro rondas de anotación: tres para a obtención dos conxuntos de adestramento e validación, e unha para o conxunto de test. Para optimizar os tempos de anotación empregouse un enfoque de aprendizaxe activa (*human-in-the-loop learning* ou *active learning*), combinando anotación manual con técnicas de etiquetaxe automática para acelerar o proceso e mellorar a calidade do conxunto de datos final [17]. Esta metodoloxía baséase nun proceso iterativo onde un modelo preliminar, adestrado cun conxunto inicial de imaxes etiquetadas, predí etiquetas en novas imaxes non anotadas. Posteriormente, as predicións con alta confianza son verificadas e corrixidas polas persoas expertas e incorporadas ao conxunto de datos, co que se amplía progresivamente a base de adestramento.

Unha das vantaxes clave deste enfoque é a capacidade do modelo de mellorar progresivamente a súa precisión a medida que se aumenta a cantidade e a dispoñibilidade das imaxes etiquetadas manualmente [17]. Esta estratexia permite reducir notablemente a

carga de traballo manual, xa que nas últimas roldas de anotación a maior parte das etiquetas son xeradas automaticamente polo modelo, requirindo unicamente unha validación por parte dos e das especialistas en aerobioloxía ou unha corrección da clasificación.

Isto permitiu que o proceso de anotación e de adestramento fose un ciclo iterativo, onde cada nova fase melloraba o rendemento do sistema e reducíanse os erros na clasificación automática. Ademais, para garantir que só se incorporasen ao conxunto de datos etiquetas de alta calidade, utilizáronse medidas de confianza nos resultados xerados polo modelo, descartando as predicións con incerteza elevada. Deste modo, conseguíuse incrementar a eficiencia do proceso de anotación e a elaboración do conxunto de datos finais sen comprometer a calidade das etiquetas, o que resultou fundamental para obter resultados en tempo útil.

Así pois, a combinación de imaxes de alta calidade cun proceso rigoroso de anotación manual permitiu establecer unha base de datos sólida para aplicar as técnicas de DL garantindo que o modelo desenvolto dispoña de información suficiente para aprender as características distintivas de cada tipo de pole. Deste xeito, o conxunto de anotación final queda conformado por un total de 770 imaxes anotadas distribuídas como se pode ver na figura 1.

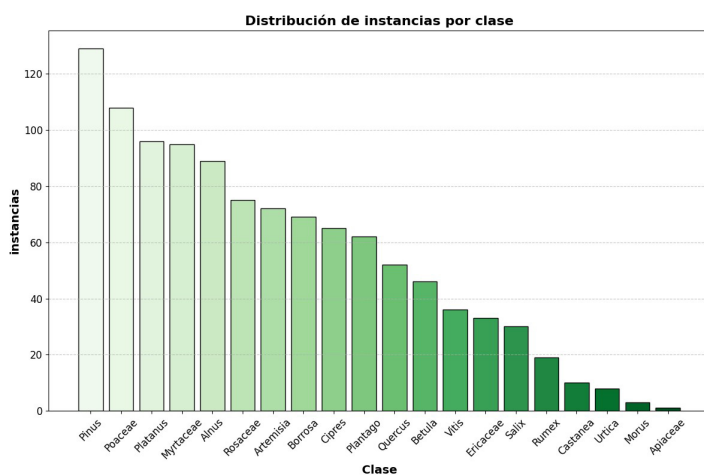


Figura 1. Recento das instancias por clase obtidas nas distintas mostras

No proxecto anotáronse diversas *taxa* de pole e árbores, incluíndo *Pinus*, *Poaceae*, *Platanus*, *Myrtaceae*, *Alnus*, *Rosaceae*, *Artemisia*, *Cipres*, *Plantago*, *Quercus*, *Betula*, *Oturo pole*, *Vitis*, *Ericaceae*, *Salix*, *Rumex*, *Castanea*, *Urtica*, *Morus*, *Apiaceae*. Algunhas destas clases presentan morfoloxías similares, como *Platanus* e *Quercus*, ou *Pinus* e *Cupresus*,

o que pode dificultar a automatización do recoñecemento debido á súa semellanza estrutural. Ademais das principais especies de pole, o proxecto tamén documenta outros *taxa* minoritarios presentes na contorna galega, o que contribúe a un rexistro máis exhaustivo da biodiversidade local. No conxunto de mostras anotadas inclúese a anotación borrosa destinada para anotar un conxunto de poles que aparecen borrosos nas imaxes, o cal imposibilita a súa clasificación. Deste modo, ese conxunto de mostras borrosas foron eliminadas do conxunto de imaxes en tempo de adestramento sobrepoñendo un cadro gris para non confundir o modelo.

Así pois, debido á distribución desigual do número de imaxes dispoñibles para cada taxon e á escaseza de mostras representativas nalgúñas clases, optouse por agrupar aquelas con menor presenza nunha única categoría denominada «Outro pole». Deste modo, quedaron establecidos no traballo como *taxa* obxectivos para ser recoñecidos *Pinus*, *Poaceae*, *Platanus*, *Myrtaceae*, *Alnus*, *Artemisa*, *Quercus*, borrosa e outro pole; garantindo así unha clasificación máis equilibrada e un adestramento máis estable do modelo, como se pode observar na figura 2.

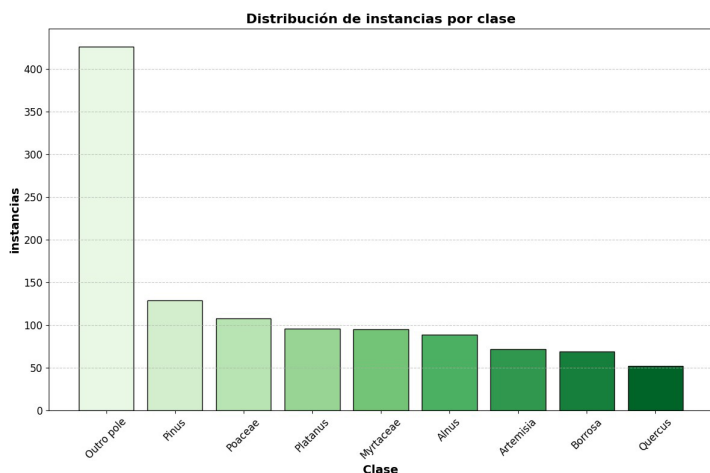


Figura 2. Reconto final das instancias por clase empregadas para desenvolver o modelo final

2.3 Aumento sintético de imaxes

O aumento sintético de imaxes desempeña un papel clave no desenvolvemento de modelos de DL, xa que permite ampliar artificialmente o conxunto de datos de adestramento e mellorar a capacidade de xeneralización do modelo en situacións de baixa dispoñibilidade de datos [18].

As técnicas de aumento estándar de *frameworks* como Ultralytics [19] adoitan centrarse en transformacións básicas como especulados, escalados e modificacións de cor, pero estas operacións resultan insuficientes para capturar a complexidade das imaxes microscópicas, onde factores como a iluminación, a orientación dos obxectos e a variabilidade das texturas teñen un impacto significativo na detección e clasificación. Pola contra, librarías amplamente empregadas como Albumentations [20] proporciona un conxunto de transformacións máis avanzado, permitindo realizar distorsións elásticas, axustes de brillo e contraste con maior precisión, filtros de ruído gaussiano para simular variacións reais do microscopio e técnicas como CutMix e CoarseDropout para incrementar a robustez do modelo ante posibles oclusións ou imperfeccións na imaxe. Neste proxecto, empregouse Albumentations como ferramenta principal para xerar imaxes aumentadas para o adestramento do modelo de DL debido á súa maior flexibilidade e diversidade de transformacións. A figura 3 amosa un exemplo dos distintos aumentos realizados ao conxunto de imaxes de mostras aerobiolóxicas.

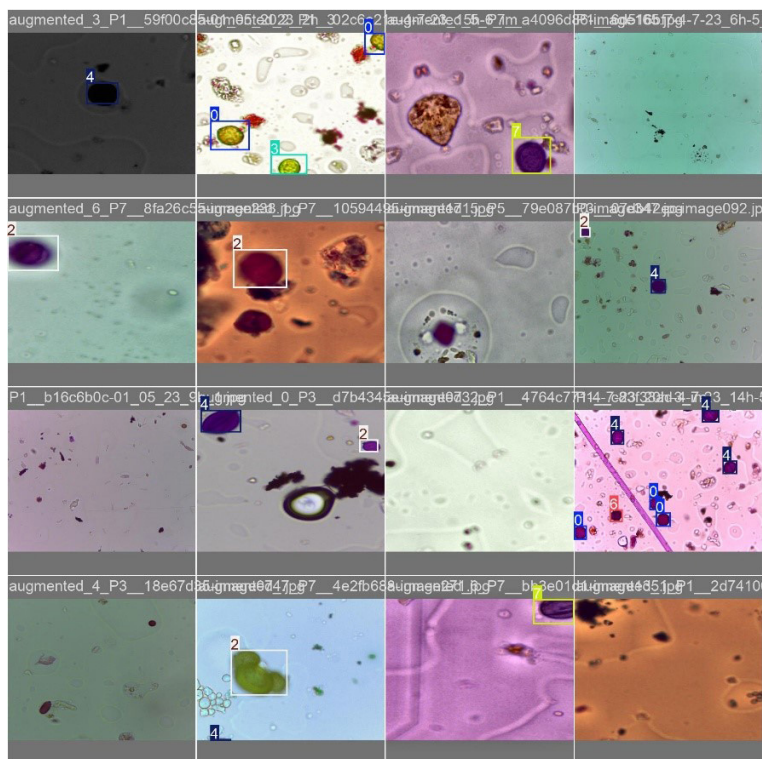


Figura 3. Exemplo de imaxes xeradas sinteticamente con anotacións de grans de pole

Un aspecto fundamental desta metodoloxía de aumento é o seu impacto no enfoque de aprendizaxe activa, concretamente nas etapas temperás do proceso iterativo e de xeración do conxunto de datos. Durante as primeiras fases do proxecto, a cantidade de imaxes etiquetadas dispoñibles é limitada, o que condiciona negativamente o rendemento do modelo debido á falta de diversidade nos datos de adestramento. Para mitigar este problema, os aumentos sintéticos empregados de maneira estratéxica e xerando variacións realistas das mostras dispoñibles permite enriquecer o conxunto de datos desde as primeiras iteracións do proceso. Isto permitiu que o modelo adquirise unha capacidade de xeneralización superior nas primeiras fases.

A medida que avanzou o proceso de adestramento e se foron incorporando máis imaxes etiquetadas ao conxunto de datos, o aumento ten un menor impacto, pero segue desempeñando un papel crucial, axudando a reducir o risco de sobreaxuste e permitindo que o modelo aprendese a distinguir entre os elementos relevantes e as variacións irrelevantes presentes nas mostras microscópicas. Ademais, a posibilidade de controlar a intensidade e a frecuencia das transformacións en Albumentations asegurou que o aumento non introducise ruído excesivo nin alterase as características estruturais dos obxectos de interese. Grazas a esta estratexia, conseguiuase acelerar a converxencia do modelo e mellorar o seu rendemento desde as primeiras iteracións, garantindo unha solución máis robusta e adaptable ás diferentes condición e etapas.

2.4 Modelo de detección de obxectos YOLOv9

A análise automatizada de imaxes microscópicas require modelos capaces de detectar e clasificar obxectos cun alto grao de precisión, especialmente cando os elementos de interese teñen formas irregulares, variacións de tamaño e poden aparecer en diferentes condicións de iluminación. Para tratar este reto, no presente proxecto utilizouse a versión 9 de YOLO (YOLOv9), un dos modelos máis avanzados de detección de obxectos baseado en DL.

Os modelos YOLO pertencen á familia dos modelos de detección de obxectos nunha única etapa (Single-Stage Detection, SSD), que se contraponen aos modelos de detección en dúas etapas (Two-Stage Detection, TSD). Mentres que os modelos SSD realizan proposta de rexións de interese e a súa clasificación nun único paso, os modelos TSD realizan unha etapa inicial na que propoñen as rexións de interese para despois refinalas e clasificalas nunha segunda etapa. Polo xeral, os modelos SSD

presentan as vantaxes de ser máis rápidos e consumir menos recursos, pero teñen a desvantaxe de ser menos precisos. Neste proxecto decidiuse optar por YOLOv9 polo reducido custo computacional, que o fai máis portable, e porque nas últimas versións de YOLO se reduciu a diferenza de rendemento respecto aos modelos TSD.

Deste xeito, e con YOLOv9 como o modelo de DL no que se sustenta o proxecto, empregouse unha estratexia de *transfer learning*, adestrando o modelo a partir dunha base de coñecemento previa pero axustándoo especificamente para imaxes de microscopia do proxecto (*fine-tuning*). Este proceso permitiu optimizar o recoñecemento de grans de pole, adaptando o modelo preadestrado no conxunto de datos COCO ás características particulares das imaxes capturadas [21].

2.5 Esquema de avaliación

No desenvolvemento do modelo empregouse un esquema de avaliación do modelo de adestramento-validación, no que se se fixo unha partición do 70 % do conxunto de datos para o adestramento do modelo e outra co 30 % para a validación. Decidiuse non reservar unha partición de probas para a avaliación independente do modelo final debido ao tamaño limitado do conxunto de datos.

Co fin de optimizar o rendemento do modelo final de detección e clasificación de grans de pole, aplicouse un proceso iterativo de optimización de hiperparámetros baseado nunha validación cruzada sobre a partición de adestramento. Esta estratexia seguiu un esquema *k-fold*, no que o conxunto de datos foi dividido en *k* subconxuntos diferentes. En cada iteración, *k-1* subconxuntos empregáronse para o adestramento, mentres que a partición restante foi utilizada para a validación. Este proceso repetiuse *k* veces, garantindo que cada imaxe formase parte do conxunto de validación en polo menos unha iteración. A través deste método, optimizáronse hiperparámetros como a taxa de aprendizaxe, a taxa de decaemento (*weight decay*), o tamaño das *bounding boxes* iniciais e os limiares de confianza para a detección.

Ademais da validación cruzada estándar para o axuste dos hiperparámetros, a plataforma desenvolvida no proxecto inclúe unha funcionalidade de *fine-tuning* dinámico das técnicas de aumento sintético de imaxes. Este proceso avalía o impacto das distintas transformacións de aumento sintético aplicadas ao conxunto de datos de adestramento. Así pois, durante o proceso de optimización, probáronse diferentes combinacións de técnicas como rotacións, deformacións elásticas, axustes de contraste

e filtros de ruído gaussiano, avaliando cales proporcionaban unha mellor xeneralización sen introducir alteracións artificiais nos datos. A plataforma desenvolvida no proxecto inclúe un mecanismo de *feedback* que analiza os resultados do modelo en cada iteración, permitindo axustar dinamicamente a intensidade e frecuencia das transformacións de aumento máis efectivas.

2.6 Métricas de avaliación

A avaliación do rendemento do modelo fíxose empregando métricas estándar utilizadas en modelos para a detección de obxectos. Neste senso, analizáronse a precisión (*precision*) (eq. 1) e a exhaustividade (*recall*) (eq. 2), que cuantifican respectivamente a proporción de deteccións correctas e a capacidade do modelo para identificar e clasificar todos os obxectos presentes.

$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$	(1)
$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$	(2)

Onde *TP* (verdadeiro positivo) é o número de mostras clasificadas correctamente como pertencentes a unha clase determinada; *TN* (verdadeiro negativo) refírese ás mostras correctamente asignadas como non pertencentes a unha clase específica; *FP* (falso positivo), ás mostras incorrectamente clasificadas como pertencentes; e *FN* (falso negativo), ás mostras incorrectamente asignadas como non pertencentes a unha determinada clase.

Para atopar un equilibrio óptimo entre ambas as métricas, calculouse o coeficiente *F₁* (eq. 3), unha medida combinada que permite optimizar o limiar de confianza do modelo.

$F_1 = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$	(3)
---	-----

Ademais, empregouse a precisión media (*mean Average Precision*, *mAP*) como métrica principal para avaliar a localización das entidades para clasificar, calculada en dous limiares: *mAP@50*, que mide a precisión media considerando un 50 % de

superposición entre a predición e a anotación real, e $mAP@50:95$, que avalía a precisión media en múltiples limiares de *Intersection over Union* (IoU), proporcionando unha medida máis rigorosa. A precisión media (*Average Precision*, AP) para unha única clase defínese como a media dos valores de precisión despois da recuperación de cada elemento relevante (eq. 4) e é equivalente á área baixo a curva de *precision-recall*.

$AP_c = \sum_i Recall_i - Recall_{i-1} * Precision_i$	(4)
---	-----

onde $Recall_i$ é o recall no i -ésimo punto, $Recall_{i-1}$ é o recall no punto anterior e $Precision_i$ representa o valor correspondente para a clase c no punto i ; mentres que a métrica mAP é a media das precisións medias sobre todas as consultas (eq. 5).

$mAP = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^N AP_c$	(5)
---------------------------------------	-----

onde AP_c é a media dos valores de precisión para a clase c e N é o número total de clases, e AP_c a precisión media de cada unha.

2.7 Configuración e equipo para o adestramento

Neste traballo utilizouse o modelo YOLOv9c debido ao seu equilibrio entre rendemento computacional e precisión na detección. Este modelo preadestrado no conxunto de datos COCO ofrece un número moderado de parámetros adestrables, permitindo a detección en tempo real en hardware de alto rendemento. Esta estratexia favorece unha mellor xeneralización e robustez no rendemento do modelo. O modelo YOLOv9c foi adestrado durante 200 épocas cun tamaño de *batch* de 28 e unha resolución de entrada de 640×640 píxeles. O optimizador seleccionouse automaticamente para maximizar a estabilidade e o rendemento do adestramento. Para mellorar a converxencia, empregáronse tres épocas de quecemento (*warmup*) cunha taxa de aprendizaxe inicial de 0,01, que se foi reducindo progresivamente cun factor de 0,01. Con fin de reducir o tempo de adestramento empregouse unha parada temperá (*early stopping*) se non se conseguían melloras en varias épocas consecutivas, na que o valor de paciencia (*patience*) se estableceu en 25 épocas.

Para a optimización da detección, o limiar de IoU estableceuse en 0,7, o que permitiu un máximo de 300 deteccións por imaxe. A regularización aplicouse cunha penalización de *weight decay* de 0,0005 e un *dropout* de 0,1. O modelo foi adestrado en hardware de alto rendemento con dúas GPUs Nvidia RTX 4090 (2 x 24GB de memoria) e un procesador AMD 7950X3D.

2.8 Integración do modelo desenvolto en Label Studio empregando un enfoque de aprendizaxe activa

O modelo desenvolto foi integrado en Label Studio para a súa explotación na contorna real do proxecto proposto, permitindo a anotación asistida e a validación automática das deteccións. Para adaptar a ferramenta ao enfoque *human-in-the-loop learning* ou *active learning* comentado anteriormente, realizáronse melloras como a incorporación dun sistema de selección baseado na confianza e no IoU de cada anotación, garantindo que, no caso de conflito entre múltiples etiquetas nunha mesma rexión da imaxe, a clasificación final se basease na detección con maior precisión e a maior superposición co obxecto real. Esta adaptación optimizou o proceso de etiquetaxe, reducindo a intervención manual e mellorando a calidade do conxunto de datos xerado.

3 Resultados e discusión

3.1 Resultados do adestramento

A figura 3 amosa a curva *precision-confidence* do modelo sobre o conxunto de validación. A tendencia ascendente reflicte que, a medida que se incrementa a confianza na predición, tamén aumenta a precisión global, alcanzando un máximo de 1,00 cun limiar de 0,997. Este comportamento é unha clara indicación de que o modelo responde ben cando se establecen limiares altos, o que suxire que pode ser optimizado para reducir falsos positivos sen afectar excesivamente á taxa de detección. Este punto é moi relevante si se ten en conta o enfoque de aprendizaxe activa, posto que permite obter un conxunto de anotacións certas sen comprometer ou engadir traballo o experto na etapa de revisión das anotacións. Ademais, varias clases individuais presentan picos de precisión elevados con valores de confianza menores, o que demostra que o modelo xa logra identificar certos tipos de pole de maneira fiable.

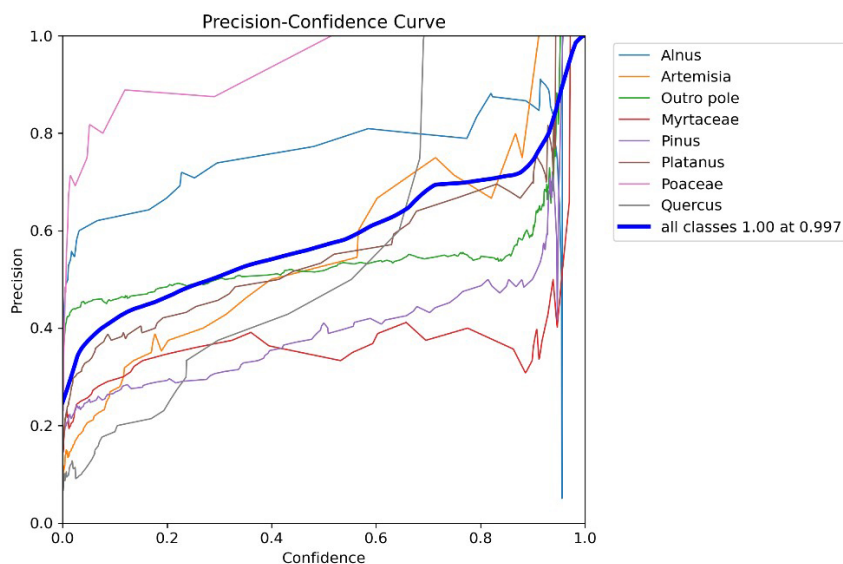


Figura 3. Curva de *precision-confidence* das distintas *taxa* de pole analizadas

A figura 4 evidencia unha redución progresiva do *recall* a medida que se incrementa o limiar de confianza. Aínda que isto é un comportamento esperado, destaca que, incluso con limiares elevados, algunhas clases conservan un *recall* alto, indicando que o modelo consegue detectar con éxito unha gran parte dos obxectos relevantes. Esta tendencia suxire que un axuste fino do limiar de confianza pode mellorar notablemente a relación entre detección e precisión sen comprometer a capacidade de reconto do modelo, algo moi vantaxoso para o enfoque de aprendizaxe activa proposto.

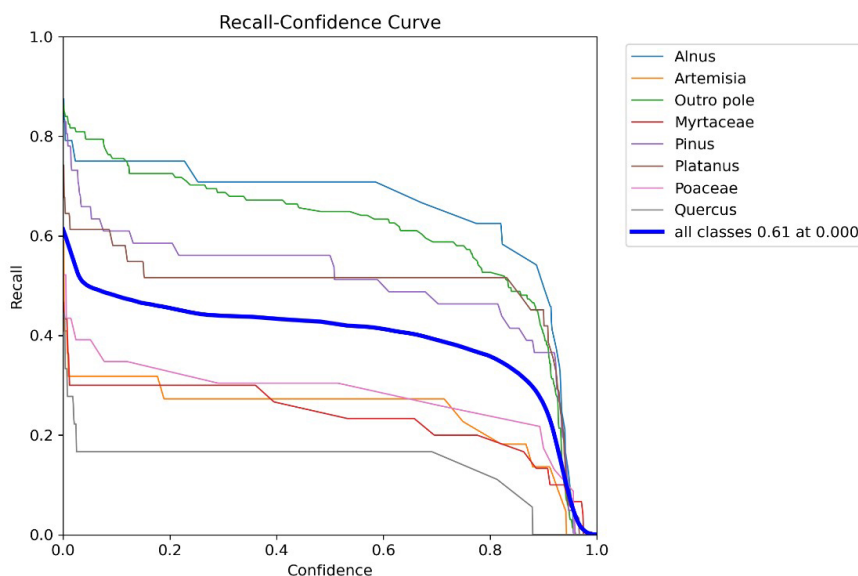


Figura 4. Curva de *recall-confidence* para as distintas *taxa* de pole analizadas

A figura 5 reflicte o compromiso entre a *precision* e o *recall* para cada taxon. O valor global de *mAP@0.5* situouse en 0,44, unha cifra moi prometedora considerando a complexidade do problema e a limitada cantidade de mostras. Ademais, especies como *Alnus* destacan cunha *precision* de 0,743, demostrando que o modelo é capaz de capturar con claridade as características distintivas dalgunhas clases. A tendencia das curvas indica que con máis datos anotados, especialmente para as clases con menor precisión, o rendemento global podería mellorar substancialmente.

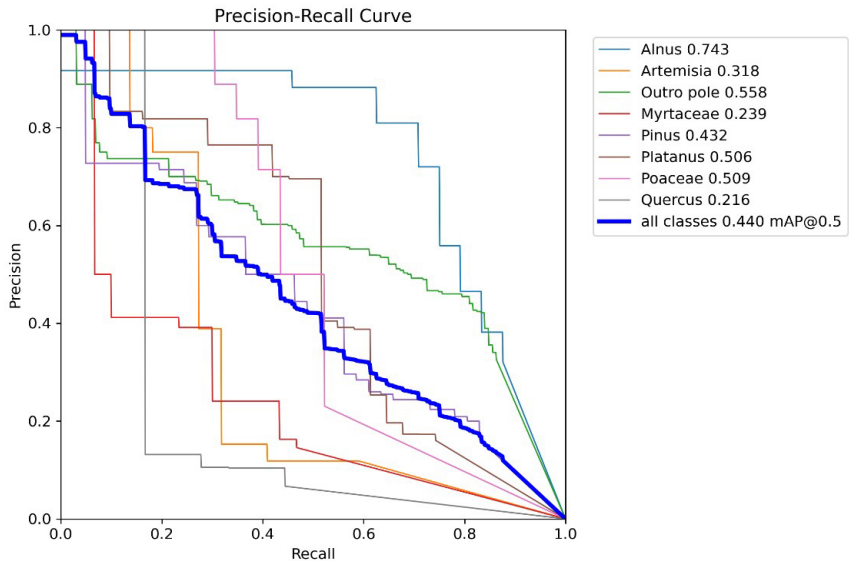


Figura 5. Curva *precision-recall* do modelo para cada taxon de pole

A análise dos erros de clasificación pode observarse na figura 6. A maior concentración de erros prodúcese en clases morfoloxicamente similares, como «Outro pole» e *Myrtaceae*, ou na categoría *Background*, que presenta unha notable confusión con outras clases, en particular con «Outro pole» e *Pinus*. Ademais, obsérvase que *Platanus* ten unha precisión moderada, pero presenta erros con *Pinus* e *Poaceae*, o que indica dificultades na discriminación destas especies. Por outra banda, a clase *Alnus* mostra unha taxa de acerto alta (0,71), o que indica unha boa capacidade do modelo para identificar esta especie. «Outro pole» tamén alcanza un nivel de acerto razoable (0,61), aínda que con confusións importantes con *Quercus* e *Myrtaceae*.

Malia estas confusións, existen clases cunha taxa de acerto considerablemente alta, como *Quercus* e *Platanus*, que mostran valores destacados en diagonal. Isto suxire que o modelo xa distingue con claridade certos tipos de pole e que a mellora na discriminación entre clases similares podería lograrse con máis exemplos ou técnicas de aumento de datos.

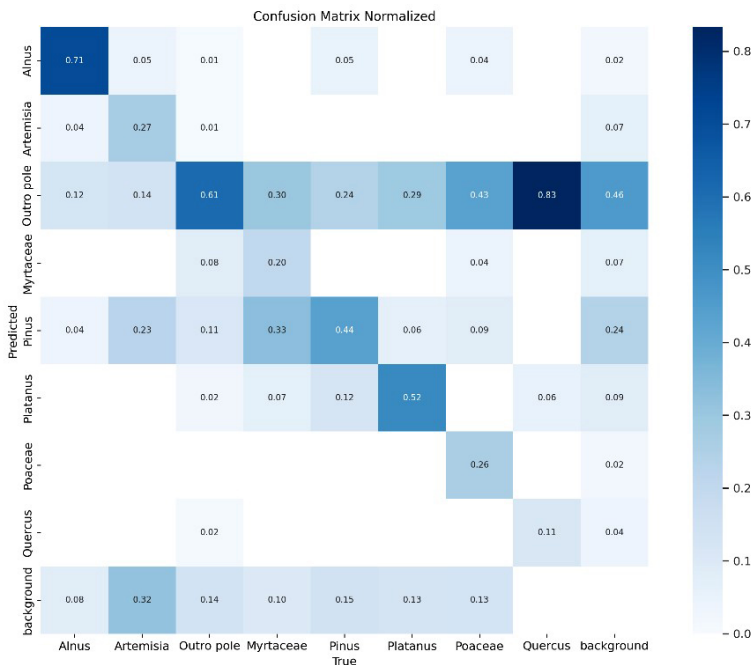


Figura 6. Matriz de confusión das distintas taxa de pole presentes no modelo

A figura 7 amosa unha relación óptima entre *precision* e *recall* arredor dun limiar de confianza de 0,65, cunha puntuación F_1 global de 0,46. A pesar de que este valor aínda é mellorable, a tendencia das curvas individuais indica que algunhas clases manteñen un equilibrio moi positivo entre detección e precisión. Este é un bo indicio de que a arquitectura do modelo xa está ben axustada á tarefa, e que pequenas optimizacións no proceso de adestramento poderían elevar substancialmente este rendemento.

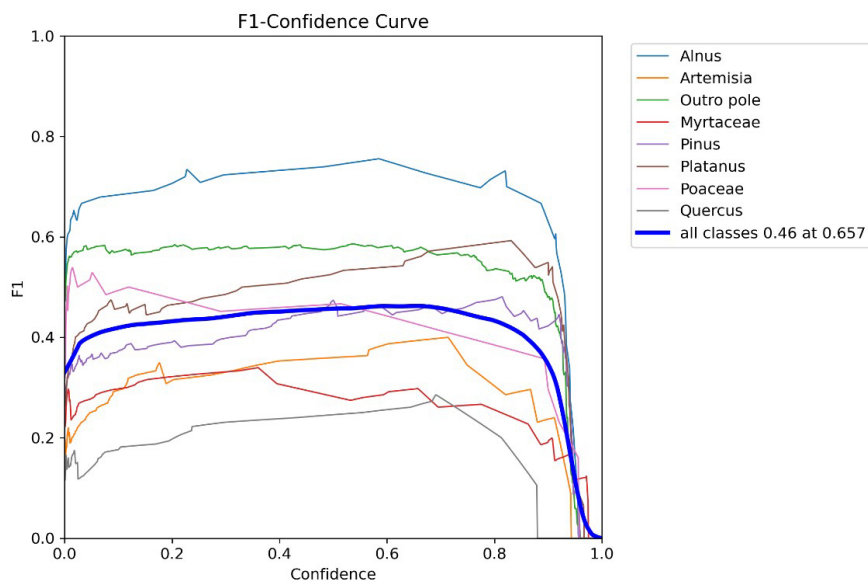


Figura 7. Curva do F_1 en función do limiar de confianza para as distintas *taxa* de pole analizadas

En conxunto, estes resultados evidencian que, a pesar do tamaño moderado do conxunto de datos, o modelo xa é capaz de detectar e de clasificar pole con precisión en moitas clases. O comportamento das curvas suxire que melloras na calidade e cantidade dos datos poderían levar a un incremento significativo no rendemento, facendo que este sistema sexa unha ferramenta valiosa para a automatización da análise aerobiolóxica en microscopía.

4 Conclusión e traballo futuro

Os resultados obtidos neste traballo evidencian o potencial dos modelos de DL para a automatización da detección e recuento de elementos microscópicos, especialmente

no contexto da aerobioloxía. Neste senso, os resultados obtidos representan un avance na automatización do laborioso proceso de procesamento de mostras microscópicas e proporcionan unha base sólida para futuros traballos. Aínda que os valores de *precision* e *recall* son mellorables, o rendemento xeral do modelo é moi prometedor. A tendencia observada nas métricas de avaliación suxire que, cun aumento no número de mostras e axustes finos no adestramento, poderían acadarse niveis de rendemento superiores, permitindo unha automatización fiable e precisa.

Un dos aspectos clave deste traballo foi a integración dun enfoque de aprendizaxe activa no proceso de anotación. Este enfoque demostrou ser altamente adecuado para contornas de automatización da identificación de elementos microscópicos, permitindo acelerar o proceso de etiquetaxe e mellorar a calidade dos datos empregados no adestramento do modelo. Ademais, establecéronse bases sólidas para a expansión futura do conxunto de datos, favorecendo un ciclo iterativo de mellora continua asistido polo modelo desenvolvido. Outro punto destacable é a multidisciplinaridade da metodoloxía e os algoritmos empregados. A estratexia e os enfoques propostos poden extrapolarse a distintos ámbitos da microscopia, como a análise de microorganismos, tecidos biolóxicos ou partículas ambientais. Isto abre novas oportunidades para a aplicación de técnicas de IA na investigación biolóxica e ambiental, demostrando que o enfoque empregado non só é eficaz para a aerobioloxía, senón tamén adaptable a outros contextos científicos.

En conclusión, este traballo representa un paso inicial cara á automatización da análise microscópica mediante DL. A integración de modelos de detección de obxectos, como o empregado neste traballo, que permiten delimitar e clasificar con precisión cada elemento dentro da imaxe, resulta clave para habilitar o recuento preciso de elementos en mostras microscópicas. Este aspecto é fundamental para a análise microscópica, xa que facilita a cuantificación e a avaliación das concentracións en mostras como as de grans de pole en diferentes condicións ambientais, mellorando a precisión e a fiabilidade dos datos obtidos. A metodoloxía proposta non só optimiza os procedementos actuais de recuento manual, senón que tamén establece unha base sólida para a implementación de sistemas de monitorización automatizados, permitindo unha resposta máis rápida e eficiente na xestión de datos ambientais e biomédicos.

5 Agradecementos

Este traballo foi financiado por (i) o proxecto INOU2024-07 da Deputación Provincial de Ourense. Ademais, este traballo foi apoiado polo Laboratorio Asociado de Química Verde, financiado pola Fundación para a Ciencia e a Tecnoloxía de Portugal (axuda UIDB/50006/2020); pola Consellería de Cultura, Educación e Universidade da Xunta de Galicia, no marco do financiamento estratéxico de Grupos de Referencia Competitiva (axudas ED431C 2022/03-GRC e ED431C 2017/62 BV1); e pola acreditación 2019-2022 do Centro Singular de Investigación de Galicia, financiado polo Fondo Europeo de Desenvolvemento Rexional (axuda ED431G2019/06). Os autores tamén agradecen a bolsa posdoutoral de M. Pérez-Pérez, financiada pola Xunta de Galicia (axuda ED481D-2023-003).

6 Referencias

- [1] A. Gupta, P.J. Harrison, H. Wieslander, N. Pielawski, K. Kartasalo, G. Partel, L. Solorzano, A. Suveer, A.H. Klemm, O. Spjuth, I.M. Sintorn, C. Wählby, Deep Learning in Image Cytometry: A Review, *Cytom. Part A* (2019). <https://doi.org/10.1002/cyto.a.23701>.
- [2] T. Zuberbier, J. Lötvall, S. Simoons, S. V. Subramanian, M.K. Church, Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: A GA2LEN review, *Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol.* (2014). <https://doi.org/10.1111/all.12470>.
- [3] Swisens, Cost comparison: hirst vs. automatic pollenmonitoring, (n.d.). <https://www.swisens.ch/en/blog/cost-comparison-automatic-versus-traditional-pollen-monitoring> (accessed March 13, 2025).
- [4] F. Tummon, B. Adams-Groom, C.M. Antunes, N. Bruffaerts, J. Buters, P. Cariñanos, S. Celenk, M. Choël, B. Clot, A. Cristofori, B. Crouzy, A. Damialis, A.R. Fernández, D.F. González, C. Galán, B. Gedda, R. Gehrig, M. Gonzalez-Alonso, E. Gottardini, J. Gros-Daillon, L. Hajkova, D. O'Connor, P. Östensson, J. Oteros, A. Pauling, R. Pérez-Badía, V. Rodinkova, F.J. Rodríguez-Rajo, H. Ribeiro, I. Sauliene, B. Sikoparija, C.A. Skjøth, A. Spanu, M. Sofiev, O. Sozinova, L. Srnc, N. Visez, L.A. de Weger, The role of automatic pollen and fungal spore monitoring across major end-user domains, *Aerobiologia* (Bologna). 40 (2024) 57–75. <https://doi.org/10.1007/S10453-024-09820-2/FIGURES/3>.
- [5] R. Hollandi, Á. Diósi, G. Hollandi, N. Moshkov, P. Horváth, Annotator J: An image J plugin to ease hand annotation of cellular compartments, *Mol. Biol. Cell* (2020). <https://doi.org/10.1091/MBE.E20-02-0156>.
- [6] E. Kubera, A. Kubik-Komar, P. Kurasiński, K. Piotrowska-Weryszko, M. Skrzypiec, Detection and Recognition of Pollen Grains in Multilabel Microscopic Images, *Sensors* (2022). <https://doi.org/10.3390/s22072690>.

- [7] J. Buters, M. Gonzalez-Alonso, L. Klimek, J.C. Simon, R. Treudler, Automatic pollen monitoring, *Atemwegs- Und Lungenkrankheiten* (2022). <https://doi.org/10.5414/ALX02286>.
- [8] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi, You only look once: Unified, real-time object detection, in: *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, 2016. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>.
- [9] J. Schaefer, M. Milling, B.W. Schuller, B. Bauer, J.O. Brunner, C. Traidl-Hoffmann, A. Damialis, Towards automatic airborne pollen monitoring: From commercial devices to operational by mitigating class-imbalance in a deep learning approach, *Sci. Total Environ.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148932>.
- [10] M. Novo-Lourés, M. Fernández-González, R. Pavón, K.C.S. Espinosa, R. Laza, G. Guada, J.R. Méndez, F. Fdez-Riverola, F.J. Rodríguez-Rajo, *Alnus Airborne Pollen Trends during the Last 26 Years for Improving Machine Learning-Based Forecasting Methods, Forests* (2023). <https://doi.org/10.3390/f14081586>.
- [11] P. Davila-Piñón, A. Nogueira-Rodríguez, A.I. Díez-Martín, L. Codesido, J. Herrero, M. Puga, L. Rivas, E. Sánchez, F. Fdez-Riverola, D. Glez-Peña, M. Reboiro-Jato, H. López-Fernández, J. Cubiella, Optical diagnosis in still images of colorectal polyps: comparison between expert endoscopists and PolyDeep, a Computer-Aided Diagnosis system, *Front. Oncol.* 14 (2024) 1393815. <https://doi.org/10.3389/FONC.2024.1393815/BIBTEX>.
- [12] M. Sofiev, J. Palamarchuk, R. Kouznetsov, T. Abramidze, B. Adams-Groom, C.M. Antunes, A.H. Ariño, M. Bastl, J. Belmonte, U.E. Berger, M. Bonini, N. Bruffaerts, J. Buters, P. Cariñanos, S. Celenk, V. Ceriotti, A. Charalampopoulos, Y. Clewlow, B. Clot, A. Dahl, A. Damialis, C. De Linares, L.A. De Weger, L. Dirr, A. Ekebom, Y. Fatahi, M. Fernández González, D. Fernández González, S. Fernández-Rodríguez, C. Galán, B. Gedda, R. Gehrig, C. Geller Bernstein, N. Gonzalez Roldan, L. Grewling, L. Hajkova, R. Hänninen, F. Hentges, J. Jantunen, E. Kadantsev, I. Kasprzyk, M. Kloster, K. Kluska, M. Koenders, J. Lafférsová, P.M. Leru, A. Lipiec, M. Louna-Korteniemi, D. Magyar, B. Majkowska-Wojciechowska, M. Mäkelä, M. Mitrovic, D. Myszkowska, G. Oliver, P. Östensson, R. Pérez-Badia, K. Piotrowska-Weryszko, M. Prank, E.M. Przedpelska-Wasowicz, S. Päätsi, F.J.R. Rajo, H. Ramfjord, J. Rapijko, V. Rodinkova, J. Rojo, L. Ruiz-Valenzuela, O. Rybníček, A. Saarto, I. Sauliene, A.K. Seliger, E. Severova, V. Shalaboda, B. Sikoparija, P. Siljamo, J. Soares, O. Sozinova, A. Stangel, B. Stjepanović, E. Teinmaa, S. Tyuryakov, M.M. Trigo, A. Uppstu, M. Vill, J. Vira, N. Visez, T. Vitikainen, D. Vokou, E. Weryszko-Chmielewska, A. Karppinen, European pollen reanalysis, 1980–2022, for alder, birch, and olive, *Sci. Data* 2024 1111 (2024) 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03686-2>.
- [13] C.-Y. Wang, I.-H. Yeh, H.-Y.M. Liao, YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information, (2024). https://doi.org/10.1007/978-3-031-72751-1_1.

- [14] J.M. HIRST, AN AUTOMATIC VOLUMETRIC SPORE TRAP, *Ann. Appl. Biol.* (1952). <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x>.
- [15] C. Galán, P. Gonzalez Cariñanos, T. Purificación Alcázar, E. Domínguez Vilches, Spanish Aerobiology Network (REA): management and quality manual, 2007.
- [16] HumanSignal Inc, Open Source Data Labeling | Label Studio, (n.d.). <https://labelstudio.io/> (accessed February 28, 2025).
- [17] E. Mosqueira-Rey, E. Hernández-Pereira, D. Alonso-Ríos, J. Bobes-Bascarán, Á. Fernández-Leal, Human-in-the-loop machine learning: a state of the art, *Artif. Intell. Rev.* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10246-w>.
- [18] C. Shorten, T.M. Khoshgoftaar, A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning, *J. Big Data* (2019). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0197-0>.
- [19] C. Wong, G. Jocher, ultralytics, GitHub, Inc. (2022).
- [20] A. Buslaev, V.I. Iglovikov, E. Khvedchenya, A. Parinov, M. Druzhinin, A.A. Kalinin, Albumentations: Fast and flexible image augmentations, *Inf.* (2020). <https://doi.org/10.3390/info11020125>.
- [21] T.Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, C.L. Zitnick, Microsoft COCO: Common objects in context, in: *Lect. Notes Comput. Sci. (Including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48.

As culturas antigas e a educación actual: unha experiencia de intervención educativa en Ourense

I. Souto Castro,¹ C. Míguez Álvarez,² M. I. Mociño González,²
H. López Gómez¹ e P. Valle Abad¹

*¹Departamento de Historia, Arte e Xeografía, campus de Ourense,
Facultade de Historia, Universidade de Vigo*

*²Departamento de Didácticas Especiais, campus de Ourense,
Facultade de Educación e Traballo Social, Universidade de Vigo*

isouto@uvigo.gal, camiguez@uvigo.gal, imocino@uvigo.gal, helena.lopez.gomez@uvigo.gal, pvalle@uvigo.gal

Resumo

No contexto social altamente dixitalizado e cada vez máis global, intercultural e plurilingüe no que vivimos, é necesario difundir e poñer en coñecemento as culturas, arqueoloxía e linguaxes do mundo antigo como mostra do noso patrimonio inmaterial, así como concienciar sobre a importancia das linguas como instrumento de comunicación, facendo especial fincapé na produción escrita que nos permite entender as orixes dos códigos que empregamos actualmente e de xeito cotián. Este proxecto presenta unha intervención levada a cabo en seis centros educativos da provincia de Ourense, de carácter concertado e público, tanto urbanos coma rurais, en etapas comprendidas dende infantil ata a educación secundaria obrigatoria. O procedemento consistiu en presentacións dialóxicas e interactivas co alumnado a modo de talleres de escritas antigas que incluíron o exipcio clásico (xeroglífico) e tardío, así como o grego clásico fundamentalmente, debido a que posúen alfabetos diferentes do noso latino actual.

Os resultados deste proxecto permitíronnos pór de manifesto o valor das culturas e linguas antigas e clásicas e a súa diversidade, que nos enriquece como sociedade,

así como promover a tolerancia e sensibilizar sobre o patrimonio cultural en relación coa antigüidade, a historia, a educación e a arqueoloxía. Por outra banda, o proxecto permitiunos detectar o estado actual do interese dos máis cativos e cativas pola historia antiga e coñecer de primeira man os contidos relacionados que se imparten e como se imparten, nos distintos contextos e etapas educativas.

Palabras clave: ensino, escrita, mundo antigo, intervención educativa e Ourense

1 Introducción

1.1 *Importancia das linguas e culturas antigas*

Nunha era dominada pola tecnoloxía, a inmediatez da información e a crecente globalización, resulta fundamental reflexionar sobre o papel que deben desenvolver as humanidades e os estudos clásicos na formación do pensamento crítico e a preservación do noso patrimonio cultural, que permite a comprensión cara a outras culturas, o descubrimento de formas alternativas de facer fronte aos retos actuais e que fomenta unha cidadanía reflexiva e comprometida co mundo que a rodea [1]. Así, ante unha Europa cada vez máis diversa e plural, é imprescindible que o alumnado sexa capaz de comprender a súa propia cultura e identidade, os aspectos en común con outras manifestacións culturais de raíces semellantes, así como promover a aceptación do «outro» co obxectivo de coexistir pacificamente nun espazo común [2, 3].

Porén, a sociedade actual semella só preocuparse polos coñecementos que se consideran útiles para o crecemento económico e a empregabilidade, sen fomentar o pensamento crítico e a reflexión ligada a estas materias. Tal e como Muñoz-Repiso, Murillo e Arrimadas indican:

No corren buenos tiempos para las humanidades. En realidad no son buenos tiempos para nada que tenga un cariz de gratuidad, para nada aparentemente «inútil», para lo no cotizable en el mercado. La educación no escapa al economicismo reinante en todas las esferas sociales y en cualquier parte del mundo sus fines y regulación se ven tan afectados por él como cualquier otra actividad humana. [4:209]

Ante esta situación, consideramos que a aprendizaxe debe comezar dende idades temperás, co obxectivo de proporcionarlle ao alumnado unha formación integral que lle permita desenvolver capacidades de lectoescritura, de busca de información, de reflexión, de creación e de comprensión do pasado para entender o presente [5].

1.2 Relación co currículo educativo

No noso país, as linguas antigas requiren dunha grande especialización, xa que ben só se ensinan en determinados itinerarios das etapas superiores de secundaria e bacharelato, como é o caso do latín e do grego, ben están ausentes do currículo docente, mesmo no ámbito universitario, como acontece co exipcio clásico. Os decretos de cada unha das etapas educativas (infantil, primaria, secundaria e bacharelato) indican o seguinte con respecto ao ensino da cultura e linguas clásicas:

- Decreto 150/2022, do 8 de setembro, polo que se establece a ordenación e o currículo da educación infantil na comunidade autónoma de Galicia [6]: non se menciona.
- Decreto 155/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo da educación primaria na comunidade autónoma de Galicia [7]: menciónase na área de ciencias sociais de 3.º e 4.º curso o ensino da contorna cultural e social dende a prehistoria ata a idade antiga, así como as expresións artísticas e culturais da antigüidade e a idade antiga.
- Decreto 156/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo da educación secundaria obrigatoria na comunidade autónoma de Galicia [8]: inclúese a cultura clásica como materia optativa en 3.º ou 4.º curso para escoller entre varias opcións. Como contidos, impártese unha visión xeral do mundo grecorromano, centrándose sobre todo nas facetas xeográfica, histórica, literaria e lingüística.
- Decreto 157/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo do bacharelato na comunidade autónoma de Galicia [9]: só se permite o estudo do latín e do grego clásico na modalidade de Humanidades e Ciencias Sociais, e son materias optativas dentro do propio itinerario. En ambas as materias focalízase o ensino na comprensión e na produción de textos, e predominan a tradución e o comentario de textos.

Así, tal e como podemos observar, o ensino da cultura clásica aínda que conta cun espazo asignado co currículo educativo galego nas etapas de secundaria e bacharelato (neste último caso centrado no latín e no grego clásico), o seu carácter optativo provoca que unha parte significativa do estudantado remate o ensino obrigatorio sen cursar unha formación específica neste ámbito e, polo tanto, sen coñecer as raíces

da civilización occidental e o legado lingüístico do latín e do grego na formación das linguas romances, incluído o galego.

Por outra banda, en moitos casos o seu ensino baséase no emprego dunha metodoloxía tradicional, centrada no uso de textos escritos, habitualmente procedentes do libro de texto, ou na simple tradución de textos e aprendizaxe directa da gramática, o que provoca a desmotivación do alumnado e converte o ensino nun estudo de regras abstractas desvinculadas do presente [10]. Ante esta situación, comezan a introducirse nas aulas metodoloxías interactivas e activas como a aprendizaxe cooperativa [5], así como recursos de diversa índole, entre os que destacan as películas e series [12, 13, 14, 15, 16], publicidade [17, 18], textos de varios xéneros [19, 20, 21], videoxogos [22], textos reais [23], a rede [16], arte e escultura [24], que lle permiten achegar os contidos lingüísticos e culturais á realidade do alumnado.

1.3 Obxectivos xerais e específicos

Ante esta situación, decidiuse levar a cabo un proxecto que tiña como fin a difusión e a posta en coñecemento das culturas, arqueoloxía e linguaxes do mundo antigo, partindo da premisa «Como era a educación no mundo antigo», así como a concienciación sobre a importancia das linguas como código de comunicación dende a antigüidade e o seu valor como patrimonio inmaterial a través de obradoiros en centros educativos da provincia de Ourense. Así, os obxectivos xerais e específicos do proxecto que se levou a cabo foron:

1.3.1 Obxectivos xerais

1. Difundir e transferir o coñecemento da historia antiga, arqueoloxía e linguas clásicas nas escolas de educación infantil e primaria e nos institutos de educación secundaria da provincia de Ourense.
2. Concienciar nas distintas etapas educativas (adaptando os contidos) sobre a importancia vehicular das linguas nunha sociedade dixitalizada.
3. Remarcar o valor e a diversidade cultural das linguas antigas e a súa influencia na conformación das nosas linguas actuais, así como dos seus vínculos coa historia e a arqueoloxía que derivaron como resultado na nosa cultura e constitúen o noso patrimonio inmaterial.
4. Acercar o saber sobre como era a educación no mundo antigo e sensibilizar sobre a súa importancia.

5. Tender pontes entre a universidade, entendida como recurso social, e os centros de educación nas súas diversas etapas educativas

1.3.2 Obxectivos específicos

1. Analizar o interese do alumnado sobre as culturas antigas e clásicas, especialmente nas temáticas relacionadas coa escrita e a educación no mundo antigo.
2. Avaliar o uso das linguas e culturas antigas e a súa inclusión como ferramenta didáctica nas aulas e proceder ás propostas de mellora que se observen necesarias para implementar boas prácticas no tratamento desta temática.
3. Acercar a temática proposta a centros das distintas etapas educativas da cidade e da provincia de Ourense, en ámbitos urbanos e rurais.
4. Poñer en coñecemento do estudantado as actividades que as áreas participantes desenvolven no campus de Ourense.
5. Transmitirlles e transferirlles o coñecemento histórico ás xeracións máis novas, recalcando a importancia das humanidades, da historia e do patrimonio nunha sociedade dixitalizada a través dos métodos didácticos axeitados e adaptados a cada etapa educativa.
6. Difundir os resultados obtidos en publicacións e conferencias e habilitar espazos de retroalimentación entre a universidade e a escola.
7. Captar e motivar futuras e futuros estudantes.

2 Materiais e métodos

2.1 Descrición dos centros participantes

Neste proxecto buscou a participación de centros educativos situados na provincia de Ourense, intentando, na medida do posible, buscar un certo equilibrio en función da súa etapa educativa (educación infantil/educación primaria/educación secundaria), a súa natureza (públicos e concertados) e a súa localización (urbano/rural). Non obstante, debido á temporalización do proxecto, que excluía os meses de xullo e de agosto por seren non lectivos nos centros educativos e dificultaba a implementación nos meses de xuño e de setembro por ser fin e comezo de curso, o proxecto tivo que adaptarse á dispoñibilidade dos e das docentes, o que dificultou o mantemento deste equilibrio. Con todo, a táboa 1 presenta os centros participantes, así como as súas características.

Táboa 1. Relación de centros participantes

Nome do centro	Natureza	Localización	Etapas educativas participantes	Temporalización
Centro plurilingüe Colexio Santo Ángel	Concertado	Urbano	3.º ESO	22-28 de maio de 2024
Colexio plurilingüe Padre Feijóo Zorelle	Concertado	Urbano	1.º ESO	23-28 de maio de 2024
IES Blanco Amor	Público	Urbano	3.º ESO	30 de maio de 2024
CEIP Padre Crespo	Público	Rural	5.º e 6.º de EI, 1.º6-.º EP	11 de outubro de 2025
CEIP Vista Hermosa	Público	Urbano	2.º a 6.º de EP	8 e 17 de outubro de 2025
CEIP As Mercedes	Público	Urbano	3.º e 4.º de EP	15 e 12 de novembro de 2025

Así mesmo, durante o mes de xullo levouse a cabo unha experiencia no programa Campus Camp da Universidade de Vigo, programa destinado aos fillos e fillas do persoal traballador da universidade durante a época non lectiva. Neste obradoiro realizado o 10 de xullo de 2024 participou alumnado das etapas de educación infantil e educación primaria.

2.2 Descrición dos obradoiros

Todos os obradoiros seguiron unha metodoloxía activa e paidocentrista [25], centrada na participación e interacción do alumnado, buscando promover a ecoalfabetización e o valor educativo do mundo antigo a través das súas manifestacións escritas, cunha perspectiva colaborativa, inclusiva e activa na construción do coñecemento, a súa difusión e circulación.

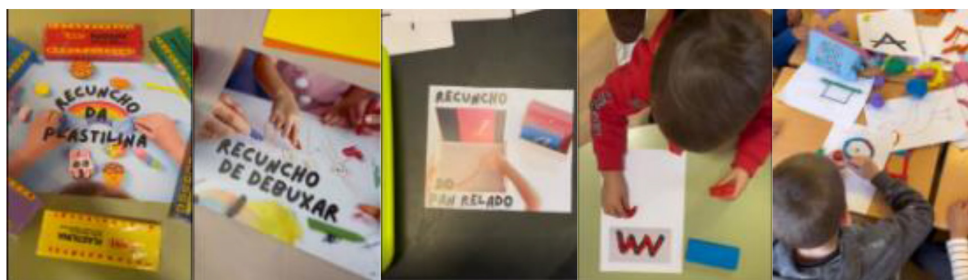
2.2.1 Educación infantil

Este obradoiro pretendeu achegar o alumnado da etapa de infantil ás culturas antigas e clásicas (Exipto e Grecia) e amosar a evolución da escrita a través da relación entre algúns dos seus símbolos máis representativos e as letras que empregamos na actualidade e que están empezando a coñecer. Por tanto, a intervención constou dunha posta en común inicial para compartir os coñecementos previos e unha exposición de

carácter dialóxico sobre as dúas culturas antigas mediterráneas: Exipto e Grecia (Roma non se incluíu nesta etapa pola súa similitude coa cultura grega e polo uso do alfabeto latino), e a explicación das orixes dalgunhas das letras que conforman o alfabeto actual que manexamos en castelán e galego. A través dos recursos e referentes que eles e elas coñecían, estableceuse unha metodoloxía que permitise a súa implicación.

A segunda parte do obradoiro centrouse na manipulación por parte dos nenos e nenas de diversos materiais, facilitando a aprendizaxe práctica dos conceptos aprendidos. Esta actividade desenvolveuse como primeira experiencia que permitiu implementar melloras para a seguinte aplicación dos contidos noutros centros. Deste xeito, no obradoiro do Campus Camp, realizado como piloto para os obradoiros coas nenas e nenos de EI, o alumnado tivo que recrear algúns dos símbolos e glifos exipcios relacionados cos animais e coas partes do corpo. A continuación, en función do seu animal favorito, elaboraron unha representación destes, seguindo o padrón dos símbolos traballados. Porén, moitos destes símbolos resultaron demasiado arbitrarios para as nenas e nenos, que se limitaban a colorear os debuxos, sen realmente comprender a súa utilidade como sistema de comunicación.

Así, para que a aprendizaxe fose significativa, optamos por modificar esta actividade de xeito que, partindo das letras que xa coñecen (como a letra A, D, M ou O), se traballase con símbolos do alfabeto fenicio e, deste xeito, establecer unha ponte entre o alfabeto que están a aprender e as súas orixes históricas, que xeralmente xa experimentaron iniciativas de aplicación especialmente en educación secundaria [26]. Para iso, creáronse tres recunchos principais de intervención manipulativa: traballo con plastilina para darlles forma aos signos e letras; traballo de debuxo e reprodución dos signos e letras; e por último, reprodución dos signos, símbolos e letras con pan relado (figuras 1-5).



Figuras 1-5. Nenos e nenas de infantil traballando en cada recuncho. ©Imaxes reproducidas co permiso do alumnado e do centro

2.2.2 Educación primaria

A intervención dividiuse de novo en dúas partes: unha primeira parte introdutoria que permitiu achegar o alumnado ás cuestións seguintes (figura 6):

- Situación xeográfica de Grecia, Exipto e Roma.
- Presentación e posta en común dalgúns dos seus elementos máis representativos.
- Introducción de aspectos de interese sobre a educación nestes períodos e comparación coa educación actual, facendo especial fincapé nas diferenzas de educación entre nenos e nenas e segundo a clase social.
- Revisión colectiva de recursos nos que aparecen estas civilizacións (películas, libros, videoxogos etc.).
- Presentación e explicación dos sistemas de escritura como ferramenta esencial para a conservación e a transmisión das culturas ao longo da historia.



Figura 6. Exemplo de parte introdutoria co alumnado de EP. ©Imaxe reproducida co permiso do alumnado e do centro

A segunda parte da intervención consistiu en dous obradoiros: un de escrita de grego clásico e outro de exipcio clásico. Os e as estudantes reproduciron coas equivalencias pertinentes os seus nomes ou construcións gramaticais adaptadas por eles mesmos segundo os seus intereses. En ambos os obradoiros empregaron materiais adaptados que simulaban as ferramentas de escritura característicos da época: para o

grego antigo empregaron arxila que modelaron para crear unha superficie de escritura plana, similar a un *ostrakon* grego (figuras 7-8), e para o xeroglífico, papiro e tinta, así como cañas (figura 9).



Figuras 7-9. Resultados do traballo de reprodución do alfabeto grego clásico en *ostraka* (esquerda). Á dereita (figura 8) un dos estudantes escribe o seu nome en exipcio medio ou xeroglífico clásico. ©Imaxes reproducidas co permiso do alumnado e docentes

Cabe destacar que, por motivos de tempo, no último centro o alumnado puido traballar con táboas de cera, formadas a partir de cera e paneis de madeira, de xeito que estes puidesen experimentar a escrita neste material, característico da época romana (figuras 10 e 11).



Figuras 10-11. Resultados dos obradoiros de xeroglífico e grego clásico, incluíndo as táboas de cera. ©Imaxes reproducidas co permiso do alumnado e docentes

2.2.3 Educación secundaria

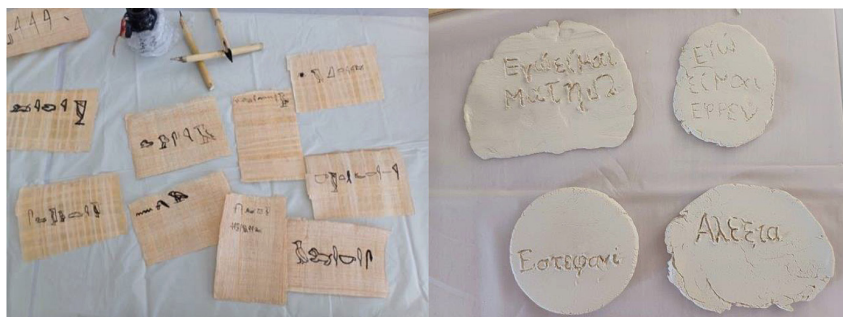
Ao igual que sucedeu coa etapa anterior, cada unha das sesións dividiuse en dúas partes. Na primeira, realizouse una introdución á educación e aos aspectos culturais

de Exipto e Grecia para, a continuación, introducirse na escritura xeroglífica e grega, tratando aspectos como os alfabetos, a transliteración, as oracións básicas e as oracións con certa complexidade gramatical. Esta sesión adaptouse á etapa educativa e ao nivel do estudantado, tendo en conta os seus coñecementos previos sobre as culturas antigas (figura 12).



Figura 12. Exemplo de parte introdutoria co alumnado da ESO. ©Imaxe reproducida co permiso do alumnado e docentes

Na segunda, o estudantado escribiu o seu nome en xeroglífico e empregou materiais adaptados (tinta, papiro) para recrear ese tipo de escrita (figura 13) e escribiu o seu nome en grego empregando a arxila como material principal (figura 14). Cabe destacar que un dos grupos participantes, polo seu nivel de coñecementos previos, tivo a oportunidade de escribir en xeroglífico oracións básicas con certa complexidade gramatical a través da transliteración (figura 15).



Figuras 13 e 14. Resultados da aplicación do alfabeto para a escrita xeroglífica e grega. ©Imaxes reproducidas cos permisos da docente e do alumnado do centro

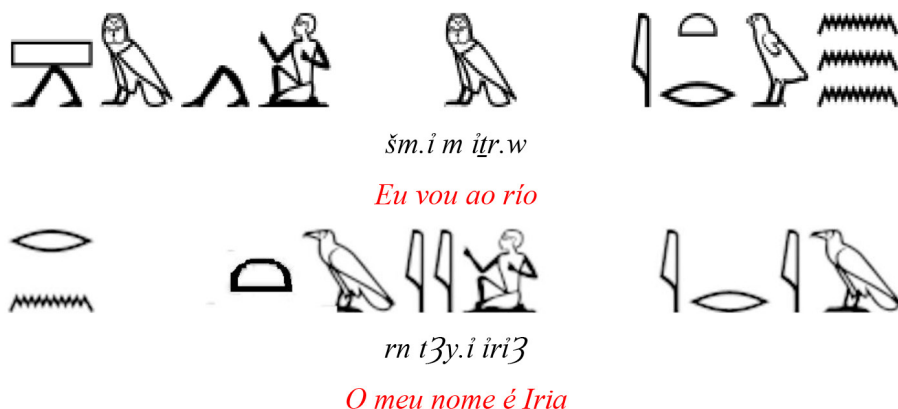


Figura 15. Exemplo de transliteración e tradución

2.2.4 Cuestionarios

As docentes de todos os centros e o alumnado de secundaria cubriron de xeito en liña un cuestionario inicial baseado no *Cuestionario sobre la situación del Griego, Latín y Cultura clásica en los centros educativos* (dispoñible en <https://acortar.link/puLuOh>), que foi adaptado ás diferentes etapas educativas das docentes. Este cuestionario recolleu datos sobre o seu perfil, a súa experiencia profesional e as características dos centros onde imparten docencia, así como as materias impartidas nos distintos niveis do centro relacionadas coa cultura clásica e cos contidos específicos tratados nestas aulas, por exemplo, linguas clásicas, mitoloxía, historia, arte ou política. Ademais, tiveron que indicar as metodoloxías e os recursos didácticos que empregan nas súas aulas e analizar o grao de interese e os aspectos que máis atractivos lle resultan ao estudantado (mitoloxía, costumes, arte, lingua etc.). Por último, tiveron que reflexionar sobre a contribución da cultura clásica á sociedade actual, especialmente en ámbitos como a educación, a interculturalidade e o fomento do respecto polas tradicións culturais.

No caso do estudantado, o cuestionario foi moi similar ao anterior, pero modificouse para reflectir a súa experiencia como discentes. Para iso, recolléronse os datos persoais, información sobre as materias que cursan, prestando especial atención ás que incorporan contidos relacionados coa cultura clásica. O alumnado indicou os principais recursos empregados nesas aulas e as actividades desenvolvidas no centro especifi-

camente relacionadas co mundo antigo. Por último, o alumnado tivo que identificar os aspectos que máis lle atraían sobre a temática, así como a súa percepción sobre a importancia do coñecemento do mundo antigo para fomentar a comprensión e o respecto pola diversidade cultural da aula.

Ao finalizar os obradoiros, os estudantes de 3.º de primaria en adiante tiveron que encher unha enquisa de satisfacción na que se recolleron as impresións e as opinións dos e das participantes sobre os obradoiros recibidos. O alumnado tivo que indicar o tema que máis interese lle suscitou de entre os temas tratados (as linguas antigas, a escrita, a educación no mundo antigo, o papel da muller ou a infancia) co obxectivo de coñecer as súas preferencias. Ademais, o alumnado tivo que indicar se lle gustaría ampliar os seus coñecementos sobre o mundo antigo e por que razón. Tamén se avaliaron aspectos específicos do seminario como a súa valoración global, incluíndo unha explicación dos aspectos que máis e que menos lles gustaron e a recomendación deste a un compañeiro/a.

Finalmente, cabe destacar que en todos os cursos participantes as investigadoras e as docentes de aula avaliaron a participación activa do estudantado tanto na parte teórica coma na práctica a través da observación directa.

3 Resultados

3.1.1 Cuestionarios das docentes

No caso do profesorado da etapa secundaria, as docentes ($n = 3$), todas indicaron que a metodoloxía que máis empregan na aula é a investigación-acción (3), que lle permite ao alumnado construír a súa propia aprendizaxe a través dunha planificación, actuación e reflexión continuas [27]. Deste xeito, deixan de lado prácticas máis tradicionais como o uso do libro de texto, que só emprega unha das enquisadas. Así mesmo, entre outros dos recursos que utilizan atopamos as presentacións propias (2), as obras clásicas de literatura (2) como *As metamorfoses* de Ovidio, *A odisea* de Homero, seleccións de poesía en grego clásico e libros ilustrados de mitoloxía, ou as TIC (1) co emprego de podcasts, documentais ou películas.

Dúas das docentes participantes mencionaron a participación do seu alumnado no Proxecto Conecta en colaboración coa Facultade de Historia da Universidade de Vigo. A través deste proxecto, o alumnado de secundaria puido entrar en contacto coa universidade, coñecer o funcionamento do campus e expoñer os seus propios traballos

sobre culturas clásicas, tratando temas que tamén se traballan neste proxecto como a muller na mitoloxía e na sociedade grecorromana, así como a infancia.

No referente ao que elas pensan que máis esperta a atención do alumnado, sinaláronse temáticas como a historia antiga, especialmente no referente ás culturas antigas, a mitoloxía, a sociedade, os costumes e a arte, temáticas que se tratan en diversas materias do currículo. Así mesmo, indicaron que o coñecemento da cultura clásica contribúe á comprensión do funcionamento da sociedade actual (política, costumes, lingua, literatura, arquitectura, arte etc.) e permite fomentar o aprecio cara ás nosas raíces culturais, aínda que consideran que é un eido que a sociedade non valora demasiado.

Finalmente, todas as docentes concordan en que o coñecemento da antigüidade axuda a promover a interculturalidade e o fomento do respecto polas culturas que conviven na aula ao permitir entender o mundo actual como parte dun mesmo tronco común que evolucionou e foi adquirindo características propias.

Pola súa banda, as docentes de educación infantil ($n = 3$) e educación primaria que participaron na enquisa ($n = 12$) indican empregar sobre todo metodoloxías de investigación-acción baseadas no traballo colaborativo (12), deixando de lado o emprego do libro de texto (2). Deste xeito, o libro de texto deixou de ser o recurso principal das aulas (2), a favor do emprego das TIC (8), materiais elaborados polo alumnado (8), presentacións propias (2) ou os materiais mercados que semellan reproducións de ferramentas antigas como táboas ou papiros (2). Cabe destacar que, a diferenza das docentes de secundaria, só dúas docentes empregaron algunha obra de literatura ou divulgación nas súas aulas relacionadas coa temática do mundo clásico, das cales unha só mencionou obras relacionadas coa civilización celta.

As tres docentes de educación infantil indican non ter traballado na aula contidos relacionados coa cultura clásica. Pola contra, todas as docentes de primaria enquisadas traballaron algún aspecto relativo á historia, á mitoloxía e ás linguas clásicas, tal e como se amosa na figura 16. Cabe destacar que cinco docentes indican que traballaron esta temática no proxecto competencial que se leva a cabo no centro e que consiste na realización e na presentación de traballos sobre as civilizacións antigas, entre as que se inclúen Exipto e Roma e, polo tanto, estanse a traballar en diversas materias e de xeito transversal moitas destas temáticas. Isto amosa a importancia de realizar proxectos competenciais que permiten conectar diversas áreas de coñecemento, ao mesmo tempo que favorecen a motivación e a aprendizaxe activa do estudantado [25].

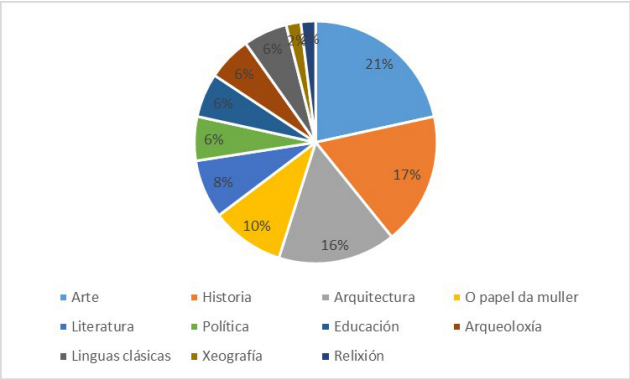


Figura 16. Temáticas traballadas nas aulas de secundaria en porcentaxes segundo as docentes de EP

A figura 17 amosa as temáticas que, segundo a súa opinión, captan máis o interese do alumnado. Cabe destacar a mitoloxía entre todas elas, algo esperable dada a idade dos participantes e o seu gusto polos mitos e as lendas, que son capaces de comprender dende idades temperás debido á súa similitude cos contos [28, 29]. De xeito semellante ás docentes de secundaria, esta mostra considera que o coñecemento da cultura clásica é o noso legado e a base de moitos dos nosos valores e costumes actuais, que nos permite comprender diversas formas de vida e apreciar o mundo que nos rodea, cada vez máis diverso. Non obstante, e semellante ao que indicaron as docentes de secundaria, consideran que a sociedade perdeu interese neste tema e que non se fomenta o suficiente o seu coñecemento.

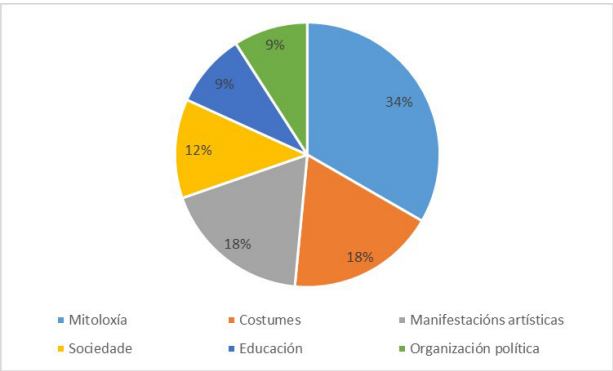


Figura 17. Temáticas preferidas polo alumnado de infantil e primaria segundo a perspectiva das docentes en porcentaxes

Finalmente, todas as docentes concordan en que o coñecemento da antigüidade axuda a promover a interculturalidade e o fomento do respecto polas culturas que conviven na aula ao permitir entender o mundo actual como parte dun mesmo tronco común que evolucionou e foi cambiando e adquirindo características propias. Deste xeito, o coñecemento doutras culturas, sociedades e formas de pensar enriquece o alumnado e permítelle poñerse na pel do outro.

En ambos os casos, e tal e como se analizará con máis detalle, podemos comprobar que valoraron os talleres realizados como actividades idóneas para comezar (no caso de infantil e primaria) ou continuar (no caso de secundaria) coa aprendizaxe do mundo antigo e a súa relación coa nosa sociedade actual.

3.1.2 Cuestionarios do alumnado

No tocante aos cuestionarios iniciais, o alumnado ($n = 49$) indica ter traballado previamente aspectos relacionados coas civilizacións antigas en materias como cultura clásica, historia e xeografía, lingua galega, lingua castelá, relixión/valores, bioloxía e arte. De maneira xeral, tal e como se pode visualizar na figura 18, os contidos que máis traballaron céntranse en aspectos chave como a historia, a xeografía, a arte e a relixión (incluíndo os mitos), aínda que tamén destacan a prevalencia doutras temáticas menos traballadas na etapa de secundaria:

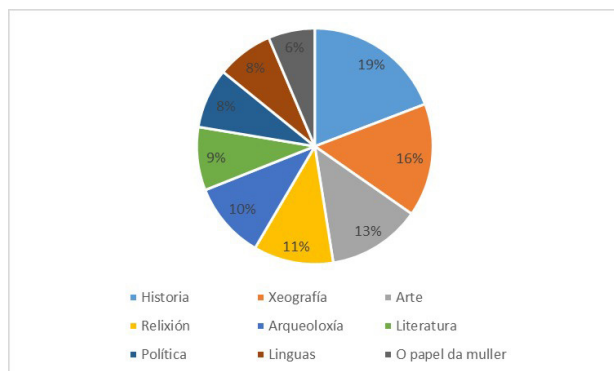


Figura 18. Temáticas traballadas nas aulas de secundaria en porcentaxes segundo o estudantado

En canto aos recursos empregados polas docentes, cabe destacar que predomina o libro de texto (porcentaxe que representa a docente que afirmaba traballar con el), pero tamén gañan terreo outros recursos como as presentacións elaboradas pola propia

docente, o emprego das novas tecnoloxías e os materiais empregados polo propio alumnado, ao ser as dúas últimas un exemplo claro do emprego da metodoloxía de aprendizaxe-acción (figura 19).

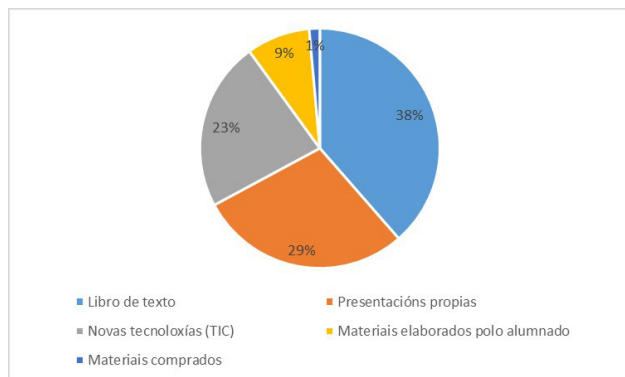


Figura 19. Recursos empregados nas aulas de secundaria en porcentaxes

O 54 % do alumnado de secundaria indicou o seu interese polas culturas antigas, especificamente a mitoloxía, a sociedade, os costumes e as linguas clásicas (figura 20), dos que xa tiñan algunha experiencia previa, ben a través da visita e presentación de traballos na Facultade de Historia da Universidade de Vigo, traballo ao que xa aludiron as docentes enquisadas, ben a través de visitas e saídas a restos romanos nas provincias de Lugo e Ourense, incluíndo unha visita á muralla de Lugo. Unha das experiencias máis salientables consistiu na participación nun proxecto de centro no que se levou a cabo a creación de mosaicos, seguindo a xa mencionada metodoloxía de aprendizaxe-acción.

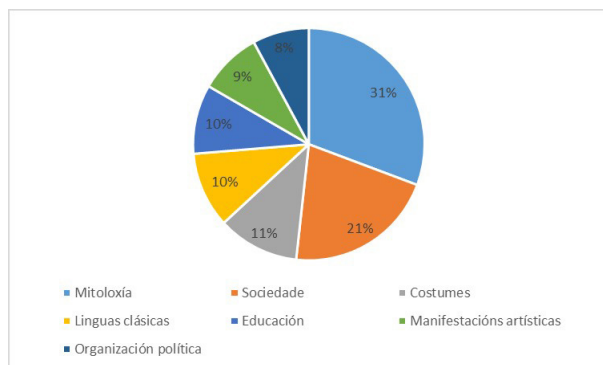


Figura 20. Temáticas preferidas polo alumnado de secundaria en porcentaxes

Finalmente, o 76 % do alumnado considera importante coñecer o mundo antigo, especialmente o de cursos superiores que xa entrou en contacto coa cultura clásica, xa que este lles permite comprender diversos aspectos do pasado, como a vida, os costumes, as súas crenzas e pensamentos; descubrir a orixe de moitas cousas actuais, coñecer a evolución do mundo e as culturas, comprender o significado das palabras ou expresións descoñecidas e interesarse pola diversidade de culturas. Así, un 84 % do alumnado considera que o coñecemento da antigüidade axuda a promover a interculturalidade e o fomento do respecto polas culturas que conviven na aula ao permitir-lles comprender o noso pasado común e sentir empatía con outras culturas e formas de vida.

3.1.3 Os obradoiros

Os cuestionarios realizados tras as intervencións nos centros educativos manifestan a satisfacción de todo o alumnado coas actividades levadas a cabo, independentemente da etapa educativa. Así, a gran maioría do alumnado sinalou o seu interese por este tipo de actividades, que fomentou as ganas de continuar aprendendo máis sobre o mundo antigo. Unha das cuestións que resultou máis atractiva para o alumnado foi o feito de que os obradoiros seguisen unha dinámica participativa, a través da cal puideron poñer en común os seus coñecementos previos e amplialos a través de actividades manipulativas e colaborativas.

A avaliación non consistiu unicamente na realización dos cuestionarios, senón que tanto as investigadoras participantes coma as docentes da aula levaron a cabo un rexistro da observación directa das actitudes e participación do alumnado durante os obradoiros. Este estableceu que os estudantes de todos os centros e de todos os cursos participaron de maneira activa en todas as actividades propostas, incluído o alumnado con necesidades educativas especiais que amosou moito interese en participar sobre todo nas actividades manipulativas, para sorpresa dalgúns docentes. Así, estes resultados corroboran o impacto positivo que tiveron os obradoiros impartidos en todas as etapas educativas. A continuación, descríbense con máis atención os resultados obtidos en cada unha das etapas traballadas.

No caso da etapa de educación secundaria ($n = 43$), tal e como se pode ver na táboa 2, a un 79,07 % do alumnado dos tres centros gustoulle esta actividade, motivando un 83,72 % a continuar aprendendo máis sobre o mundo antigo. Cabe destacar que aínda que un 18,6 % da mostra indicou que lle gustou «máis ou menos», na pregunta sobre se lle recomendarían este seminario a un compañeiro/a a práctica totalidade (95,35 %)

indicou que si, o que amosa a súa satisfacción con el. Entre as razóns polas que lles gustaría continuar aprendendo máis sobre o mundo antigo, destacan que lles parece «unha materia interesante e na que se pode aprender moito, que é importante coñecer os costumes do mundo antigo e ver todos os cambios que houbo, así como a utilidade de aprender e coñecer as cousas e a forma de vida do mundo antigo, para entender de onde veñen por exemplo o noso alfabeto ou certas expresións».

Entre as temáticas tratadas, podemos observar a preferencia pola escrita antiga (45,9 % do total de rexistros), seguido da educación (27,87 %), a infancia (9,84 %) e o papel da muller (8,2 %). Así mesmo, obsérvase claramente que o alumnado preferiu a parte práctica e manipulativa (91,11 %) á parte máis teórica, considerada esta última como o aspecto que menos lle gustou ao 27,91 % da mostra. Ante estes resultados, o equipo participante no proxecto reuniuse para reflexionar e acordouse modificar esta primeira parte de cara á súa implementación nas seguintes etapas, para facela máis interactiva e permitir unha maior participación do alumnado durante esta.

Táboa 2. Resultados do cuestionario final realizado aos estudantes da ESO

	Centro 1: 3.º ESO (n = 15)	Centro 2: 1.º ESO (n = 19)	Centro 3: 3.º ESO (n = 9)
Queres seguir aprendendo máis sobre o mundo antigo?	Si (14) Non (1)	Si (14) Non (5)	Si (8) Non (1)
Cal foi o tema que máis che interesou?	Escrituras antigas (12) Infancia (3) Educación (3) Papel da muller (2)	Escrituras antigas (11) Educación (10) Papel da muller (4) Infancia (2)	Escrituras antigas (5) Linguas antigas (4) Educación (4) Infancia (1)
Gustáronche os seminarios?	Si (15)	Si (10) Máis ou menos (8) Non (1)	Si (9)
Que foi o que máis che gustou?	Escribir con tinta (14) Traballar con arxila (7)	Escribir con tinta (9) A práctica (5) A gramática exipcia (1) A educación (1)	A práctica (5) Xeroglíficos (1) Lingua grega (1) A teoría (1)
Que foi o que menos che gustou?	A teoría (3)	A teoría (6) A escrita (1) Pouca teoría (1)	A teoría (2) Os verbos (1)
Recomendarías este seminario ?	Si (15)	Si (17) Non (2)	Si (9)

A experiencia realizada no Campus Camp tamén tivo moi bos resultados: os cinco participantes de educación infantil indicaron a súa satisfacción co obradoiro impartido, e manifestaron a súa preferencia polo traballo coa arxila, posiblemente debido ao nivel de dificultade co alfabeto de exipcio clásico; aspecto que, como se indicou no apartado anterior, se modificou de cara á intervención nos demais centros. No caso do alumnado de primaria, 16 dos 18 discentes expresaron un notable interese pola temática do mundo antigo e sinalaron que é un tema que lles resulta fascinante e divertido, e que lles gustaría continuar traballando nun futuro. Ademais, indican a súa satisfacción coa actividade (figura 21), sinalando que lla recomendarían a un compañeiro/a (94,12 %), o que resalta o seu impacto positivo.

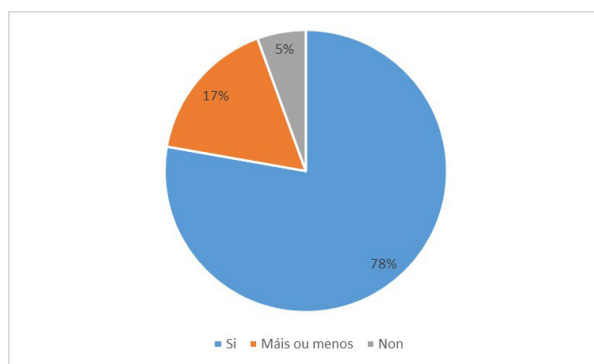


Figura 21. Satisfacción coa actividade do alumnado de educación primaria do Campus Camp

No referente ao que máis lles gustou do obradoiro, as opinións son variadas, xa que o 50 % (9 de 18) preferiu o traballo con xeroglíficos, o 16,67 % (3 de 18) indicou que lle gustou máis traballar o alfabeto grego, mentres que ao 22,22 % (4 de 18) lle gustou ambas por igual. Finalmente, no tocante aos aspectos que menos lles gustaron, tan só dous alumnos (11,11 %) indicaron que non lles gustou a primeira parte, que foi modificada, tras os resultados obtidos para a etapa educativa secundaria, o que supón un descenso da porcentaxe e un signo de que unha exposición non tan teórica e máis interactiva favorece a motivación do alumnado.

Nos centros educativos de infantil e primaria participaron un total de 209 alumnos/as. A distribución do alumnado por curso amósase na figura 22. Esta distribución non é homoxénea, xa que foron os centros os que decidiron a que cursos ían ir destinados os obradoiros.

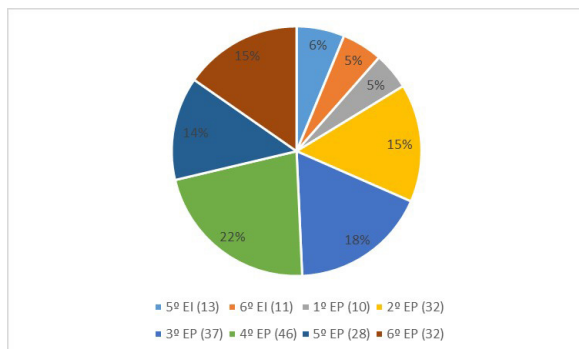


Figura 22. Distribución do alumnado por cursos en porcentaxe (entre parénteses o número total de alumnado por curso)

A avaliación do alumnado participante de educación infantil e 1.º de primaria (e 2.º e 3.º nun dos centros) realizouse a través da observación directa e de notas tomadas polas investigadoras e as docentes. Estas amosan que o alumnado participou moi activamente en todas as actividades propostas, amosando boa disposición e ganas de aprender. O alumnado respondeu con curiosidade ás preguntas realizadas e levou a cabo con éxito as actividades propostas. Tamén se puido observar que os e as estudantes se axudaban mutuamente á hora de realizar as actividades de escrita, integrando o máximo posible o alumnado con necesidades educativas especiais. Todos quedaron moi satisfeitos co seu traballo, compartindo os resultados coas docentes e investigadoras, así como outros compañeiros/as. Non obstante, estas observacións tamén se poden extrapolar aos cursos superiores, xa que amosaron unha actitude moi semellante.

Respecto ao alumnado de educación primaria que completou as enquisas de avaliación ($n = 147$), tal e como se amosa nas táboas 3-5, os resultados indican que para eles foi unha actividade que lles resultou moi satisfactoria (77,55 %) ou bastante (16,33 %) e que lles gustaría continuar traballando sobre este tema nun futuro (93,88 %). No referente ao que máis lles gustou, un 70,07 % indica que foi a parte de escribir, é dicir, o traballo manipulativo; a un 7,48 % gustoulle todo e a mesma porcentaxe destaca a parte teórica, posiblemente debido ao feito de que puideron compartir os seus coñecementos co resto da aula. No caso dos aspectos que menos lles gustaron, o 21,09 % indica que non lle gustou ningún aspecto da escrita e o 14,29 % a teoría, aínda que a porcentaxe segue sendo inferior á de secundaria. Cabe destacar

que entre os que encheron a enquisa, había varios alumnos/as que indicaron non estar acostumados a realizar este tipo de actividades, tiñan medo de mancharse ou de non facelo correctamente. Isto probablemente lles supuxo saír da súa zona de confort, polo que se sentiron inseguros e preferiron unha parte máis teórica. Finalmente, un 93,88 % recomendaríanlle sen dúbida estes talleres a un compañeiro/a, o que indica, de novo, o seu impacto positivo.

Táboa 3. Resultados do cuestionario final realizado no centro 1 de EP

Centro 1 (n = 35)			
	4.º (n = 11)	5.º (n = 10)	6.º (n = 14)
Queres seguir aprendendo?	Si (11)	Si (10)	Si (11) Máis ou menos (1) Non (2)
Gustáronche os seminarios?	Si (10) Máis ou menos (1)	Si (7) Máis ou menos (3)	Si (5) Máis ou menos (8) Non (1)
Que foi o que máis che gustou?	Linguas antigas (4) A arxila (3) As imaxes (1) A mitoloxía (1) Todo (1)	A escrita (7) A arxila (1) Os recursos (1)	A escrita (13)
Que foi o que menos che gustou?	A exposición (1)	A escrita (4) A teoría (2)	A escrita (1) A teoría (3)
Recomendarías este seminario?	Si (11)	Si (10)	Si (11) Pode ser (2) Non (1)

Táboa 4. Resultados do cuestionario final realizado no centro 2 de EP

Centro 2 (n = 78)					
	2.º (n = 14)	3.º (n = 14)	4.º (n = 14)	5.º (n = 18)	6.º (n = 18)
Queres seguir aprendendo?	Si (14)	Si (14)	Si (12) Non (2)	Si (15) Non (3)	Si (17) Non (1)
Gustáronche os seminarios?	Si (10) Máis ou menos (3) Non (1)	Si (12) Máis ou menos (2)	Si (10) Máis ou menos (1) Non (3)	Si (14) Máis ou menos (4)	Si (17) Máis ou menos (1)
Que foi o que máis che gustou?	A escrita (7) A teoría (3) Todo (2) Case todo (1)	A escrita (10) Todo (2) As imaxes (1)	A escrita (12) O mundo antigo (1)	A escrita (12) A arxila e o grego clásico (4) Todo (2)	Xeroglífico (9) Grego clásico (6) Todo (3)
Que foi o que menos che gustou?	Falta de tempo (4)	A teoría (3)	A escrita xeroglífica (3) A teoría (3) A antiga Grecia (1)	Mancharse coa tinta (4) A teoría (3) A arxila (1) A escrita xeroglífica (1)	A arxila (2) A tinta (1) O alfabeto xeroglífico (1)
Recomendarías este seminario?	Si (13) Non (1)	Si (14)	Si (11) Non (3)	Si (18)	Si (18)

Táboa 5. Resultados do cuestionario final realizado no centro 3 de EP

Centro 3 (n = 34)		
	3.º (n = 13)	4.º (n = 21)
Queres seguir aprendendo?	Si (13)	Si (21)
Gustáronche os seminarios?	Si (9) Máis ou menos (3) Non (1)	Si (20) NS / NC (1)
Que foi o que máis che gustou?	Traballar con materiais (8) A teoría (3) A escrita (2)	Manipular materiais (10) A teoría (3) A escrita (3)
Que foi o que menos che gustou?	O uso de tinta (3) Toda a actividade práctica (3) A dificultade (1)	Os materiais (5) A escrita (2) A teoría (2)
Recomendarías este seminario?	Si (10) Non (3)	Si (20) Non (1)

4 Conclusións e perspectivas futuras

Os resultados amosan que o proxecto foi unha experiencia enriquecedora e motivadora, tanto para o alumnado participante coma para os docentes dos centros educativos involucrados, que lles permitiu achegarse ás culturas antigas e clásicas dun xeito activo, manipulativo e colaborativo. Deste xeito, a través da realización de obradoiros, o alumnado puido aprender sobre como era a educación na antigüidade e a súa relación coa educación actual, coñecer os diversos sistemas de escritura existentes, recoñecer a influencia das linguas antigas na conformación das nosas linguas actuais, poñer en valor a importancia da escrita como elemento de conservación do noso patrimonio e remarcar o valor da diversidade cultural para construír unha sociedade máis inclusiva e enriquecedora.

Cabe destacar a importancia de realizar actividades de tipo manipulativo e activo que permitan fomentar a creatividade do alumnado, así como facilitar a comprensión de conceptos abstractos, como son os símbolos das linguas. No caso das presentacións dialóxicas recoméndase fomentar a interacción e a activación dos coñecementos previos, de modo que o alumnado poida relacionar o aprendido coa información nova e, dese xeito, transferir a aprendizaxe a outros contextos.

Estes resultados positivos suxiren a expansión do proxecto a máis centros educativos, de todas as etapas, incluíndo a etapa de bacharelato que por motivos de temporalización non puido ser incluída na investigación, así como introducir unha mostra máis ampla, con centros de diversas contornas, de xeito que esta proposta, xunto coas adaptacións que sexan precisas, poida chegar ao maior número de alumnado posible.

5 Referencias

- [1] Hilgert, M. (2012). Learning from the Past? On the Societal Impact of Studying Ancient Cultures. International Conference 'Humanities and the Contemporary World' – Proceedings.
- [2] Constantin, E. C., Costantin Baias, C. (2015). Reasons for Studying the Ancient Cultures in Technical Universities. *Procedia – Social and Behavioural Sciences*, 197, 437-444.
- [3] Constantin, E. C. (2013). Intercultural Management within the European Union Context. *Proceedings of Professional Communication and Translation Studies*, 6, 89-94.
- [4] Muñoz-Repiso, M., Murillo, F, Arrimadas, I. (1998). ¿Hay lugar para las humanidades en la Europa del siglo XXI?, *Revista Española de Educación Comparada*, 4, 209-235.

- [5] Casaola Gómez, C. (2018). Aprender latín en el aula a través del aprendizaje cooperativo-colaborativo una propuesta de unidad didáctica para Latín I de Bachillerato. *Thamyris*, 9, 7-56.
- [6] DECRETO 150/2022, do 8 de setembro, polo que se establece a ordenación e o currículo da educación infantil na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, n. 172, de 9 de setembro de 2022.
- [7] DECRETO 155/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, n. 183, de 26 de setembro de 2022.
- [8] DECRETO 156/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, n. 183, de 26 de setembro de 2022.
- [9] DECRETO 157/2022, do 15 de setembro, polo que se establecen a ordenación e o currículo do bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, n. 183, de 26 de setembro de 2022.
- [10] Aguilar Miquel, J. (2015). La traducción pedagógica como herramienta didáctica: hacia una nueva propuesta de aplicación en el aula, *Thamyris*, 6, 137-165.
- [11] Escarbajal Frutos, A., Martínez Galera, G. (2023). Uso de las metodologías activas en los centros educativos de educación infantil, primaria y secundaria. *International Journal of New Education*, 11, 5-25.
- [12] Albuera Guiraldos, A. (2010), Algunos aspectos de la vida cotidiana del mundo antiguo en la serie Roma, *Thamyris*, 1, 49-60
- [13] Barea Torres, C. (2013). Tradición clásica y parodia: su tratamiento en la serie de animación Los Simpson”, *Thamyris*, 4, 265-278.
- [14] Coello Gutiérrez, E. (2021). Saint Seiya en el aula de Cultura Clásica de 4º de la ESO: una propuesta didáctica. *Didáctica. Lengua y literatura*, 33, 39-47.
- [15] Lapeña Marchena, Ó. (2009). El ideal de belleza y la nostalgia del pasado: Venus en el cine y la televisión. *Iberia*, 9, 167-189.
- [16] Macías Villalobos, C. (2009). Las actividades de trabajo en grupo en un entorno tecnológico. El caso de las lenguas clásicas, *Revista de Estudios Latinos (RELat)*, 9, 209-234.
- [17] Díaz Carretero, J. J. (2011). El latín y el griego clásicos en las marcas comerciales: algunos ejemplos, *Thamyris*, 2, 15-21.
- [18] Husillos García, M. L. (2017). La publicidad como estrategia didáctica en la enseñanza secundaria obligatoria: un caso práctico, *Thamyris*, 8, 91-120.

- [19] Becerra, D., Jorge S. (2009). El cómic como elemento de atracción para la enseñanza del mundo clásico entre la literatura y la rigurosidad histórica. In M. J. Castillo, S. Knipsschild & M. García (Eds.), Congreso Internacional "Imágenes". La Antigüedad en las Artes escénicas y visuales (pp. 777-790). Logroño: Ediciones de la Universidad de la Rioja.
- [20] Sánchez Vidal, O. (2012). De in dubio pro feo a habeas corpus: Latinismos en las viñetas gráficas. *Thamyris*, 3, 123-136.
- [21] Husillos García, M. L. (2024). Mitología aplicada a la creación de situaciones de aprendizaje en la materia de Cultura Clásica, *Thamyris*, 15, 81-114.
- [22] Macías Villalobos, C. (2013). Saint Seiya en el aula de Cultura Clásica de 4º de la ESO: una propuesta didáctica. *Revista de Estudios Latinos (RELat)*, 13, 203-238.
- [23] Lillo Redonet, F. (2013). Enseñar literatura latina en la E.S.O. y el Bachillerato: reflexiones y sugerencias prácticas, *Thamyris*, 4, 63-80.
- [24] Robles Rey, E. (2015). Una experiencia en el aula: la representación de la mitología grecolatina en el Museo del Prado, *Thamyris*, 6, 399-422.
- [25] Bausela Herreras, E. (2004). La docencia a través de la investigación-acción. *Revista Iberoamericana de Educación*, 35(1), 1-9.
- [26] Jiménez Vialás, H. (2017). El patrimonio fenicio-púnico. Claves para su socialización, puesta en valor y uso didáctico. *Panta Rei. Revista Digital de Ciencia y Didáctica de la Historia*, 85-107.
- [27] Bach, F., Berkel, R. (1998). *Els rastres de l'alfabet. Escriptura i art*. Barcelona: Fundació "la Caixa".
- [28] Zabala, A., Arnau, L. (2007). La enseñanza de las competencias. *Aula de Innovación Educativa*, 161, 40-46.
- [29] Hayen, E. (2023). A Society Impaired: Why Students Must Be Taught Mythology A Society Impaired: Why Students Must Be Taught Mythology. *Emerging Writers*, 6(4).

Proxectos INOUE 2024